

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

This is to certify that the annexed is a true copy
of the following application as filed with this office.

Date of Application: December 11, 1998

Application Number: Japanese Patent Application
No.10-353241

Applicant(s) FUJITSU LIMITED

April 23, 1999

Commissioner,
Patent Office

Takeshi Isayama (Seal)

Certificate No.11-3024925

日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application:

1 9 9 8 年 1 2 月 1 1 日

出 願 番 号
Application Number:

平成 1 0 年 特 許 願 第 3 5 3 2 4 1 号

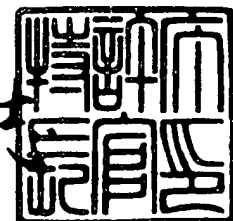
出 願 人
Applicant (s):

富士通株式会社

1 9 9 9 年 4 月 2 3 日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Patent Office

伴 佐 山 建 志



出 証 番 号 出 証 特 平 1 1 - 3 0 2 4 9 2 5

【書類名】 特許願

【整理番号】 9804764

【提出日】 平成10年12月11日

【あて先】 特許庁長官 伊佐山 建志 殿

【国際特許分類】 H01S 3/103
H01L 33/00
H01S 3/096

【発明の名称】 光半導体装置、その製造方法、および半導体ウェハ

【請求項の数】 24

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

【氏名】 倉又 朗人

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

【氏名】 窪田 晋一

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

【氏名】 堀野 和彦

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

【氏名】 副島 玲子

【特許出願人】

【識別番号】 000005223

【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

【識別番号】 100070150

【郵便番号】 150

【住所又は居所】 東京都渋谷区恵比寿4丁目20番3号 恵比寿ガーデン
プレイスタワー32階

【弁理士】

【氏名又は名称】 伊東 忠彦

【電話番号】 03-5424-2511

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 平成10年特許願第135425号

【出願日】 平成10年 5月18日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 002989

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9704678

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光半導体装置、その製造方法、および半導体ウェハ

【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の導電型を有するSiC基板と、
前記基板上にエピタキシャルに形成された、前記第1の導電型を有し、組成が $Al_xGa_{1-x}N$ で表されるAlGa N よりなるバッファ層と、
前記バッファ層上にエピタキシャルに形成された前記第1の導電型を有する第1のクラッド層と、
前記第1のクラッド層上にエピタキシャルに形成された活性層と、
前記活性層上にエピタキシャルに形成された、前記第1の導電型とは逆の第2の導電型を有する第2のクラッド層と、
前記第2のクラッド層に第1の極性の第1のキャリアを注入するように形成された第1の電極と、
前記SiC基板上に、第2の極性の第2のキャリアを注入するように形成された第2の電極とよりなり、
前記バッファ層は、前記第1の導電型のキャリアを、 $3 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の範囲の濃度で含み、前記組成パラメータ x が0より大で0.4より小である($0 < x < 0.4$)ことを特徴とする光半導体装置。

【請求項2】 前記基板は、前記第1の導電型のキャリアを、 $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の範囲の濃度で含むことを特徴とする請求項1記載の光半導体装置。

【請求項3】 前記バッファ層において、前記組成パラメータ x は0.09未満($x < 0.09$)であることを特徴とする請求項1または2記載の光半導体装置。

【請求項4】 前記基板は、SiCの(0001) $_{Si}$ 面を有し、前記バッファ層は前記(0001) $_{Si}$ 面において、前記基板に密接して形成されることを特徴とする請求項1～3のうち、いずれか一項記載の光半導体装置。

【請求項5】 SiC基板上に、有機金属気相成長法により、組成が $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 0.4$)で表されるAlGa N 膜を、成長圧力90 Torr

r以下でエピタキシャル成長させる工程を含むことを特徴とする光半導体装置の製造方法。

【請求項6】 第1の導電型を有するSiC基板と、

前記SiC基板上にエピタキシャルに形成された第1の導電型のAlGa_Nよりなるバッファ層と、

前記バッファ層上にエピタキシャルに形成された第1の導電型のAlGa_Nよりなる第1のクラッド層と、

前記第1のクラッド層上にエピタキシャルに形成された第1導電型のGa_Nよりなる光導波層と、

前記光導波層上にエピタキシャルに形成された、III族元素としてGaとInを含みV族元素としてNを含む活性層と、

前記活性層上にエピタキシャルに形成された第2の、逆導電型のAlGa_Nよりなる第2のクラッド層と、

前記第2のクラッド層に第1の極性の第1のキャリアを注入するように形成された第1の電極と、

前記SiC基板上に第2の、逆極性の第2のキャリアを注入するように形成された第2の電極とを備え、

前記SiC基板と前記活性層との間の間隔を約1.6μm以上としたことを特徴とする光半導体装置。

【請求項7】 前記バッファ層はAl_xGa_{1-x}Nで表される組成を有し、前記第1のクラッド層はAl_yGa_{1-y}Nで表される組成を有し、前記第2のクラッド層はAl_zGa_{1-z}Nで表される組成を有し、前記バッファ層の組成パラメータxは0.08以上0.5未満(0.08 ≤ x < 0.5)とされ、前記第1のクラッド層の組成パラメータyは0.05以上で前記組成パラメータx以下(0.05 ≤ y ≤ x)とされ、前記第2のクラッド層の組成パラメータzは前記組成パラメータyよりも小(z < y)とされたことを特徴とする請求項6記載の光半導体装置。

【請求項8】 基板と、

前記基板上にエピタキシャルに形成された、第1の導電型を有する第1のクラ

ッド層と、

前記第1のクラッド層上にエピタキシャルに形成された活性層と、

前記活性層上にエピタキシャルに形成された、第2の、逆導電型を有する第2のクラッド層と、

前記第2のクラッド層上にエピタキシャルに形成された、第2の導電型を有する第3のクラッド層と、

前記第3のクラッド層上に形成された、第2の導電型を有するコンタクト層と

前記コンタクト層上に形成された第1の電極と、

前記基板上に、前記第1のクラッド層に電氣的に接続されて形成された第2の電極とを備え、

前記第3のクラッド層はリッジ構造を形成し、

さらに前記第2のクラッド層と第3のクラッド層との間には、前記リッジに対応し、前記リッジの幅よりも狭い幅の開口部を有する絶縁膜が介在することを特徴とする光半導体装置。

【請求項9】 前記コンタクト層は、前記第3のクラッド層により形成されるリッジ構造の両側壁面および頂面を連続して覆うことを特徴とする請求項8記載の光半導体装置。

【請求項10】 前記第1の電極は、前記コンタクト層の両側壁面および頂面を連続して覆うことを特徴とする請求項9記載の光半導体装置。

【請求項11】 前記リッジ構造は前記絶縁膜を露出するリセス構造中に形成されており、前記第1の電極は、前記リセス構造を埋めることを特徴とする請求項10記載の光半導体装置。

【請求項12】 前記第3のクラッド層はIII族元素の窒化物よりなることを特徴とする請求項10記載の光半導体装置。

【請求項13】 第1の導電型を有する基板と、

前記基板上にエピタキシャルに形成された、第1の導電型を有する第1のクラッド層と、

前記第1のクラッド層上にエピタキシャルに形成された活性層と、

前記活性層上にエピタキシャルに形成された、第2の、逆導電型を有する第2のクラッド層と、

前記第2のクラッド層上にエピタキシャルに形成された、第2の導電型を有する第3のクラッド層と、

前記第3のクラッド層上に形成された、第2の導電型を有するコンタクト層と

前記コンタクト層上に形成された第1の電極と、

前記基板上に形成された第2の電極とを備え、

前記第3のクラッド層はT字型の断面を有するリッジ構造を形成し、

前記第3のクラッド層の下部には、両側壁面からリッジ中心線に向かって切り込む一对の隙間が形成されていることを特徴とする光半導体装置。

【請求項14】 下地半導体層上に開口部を有する絶縁膜パターンを形成する工程と、

前記絶縁膜パターン上に、A1とIII族元素の窒化物を有機金属気相成長法により堆積し、前記開口部に対応して前記下地半導体層上に、前記開口部に対応して前記窒化物の再成長領域を形成する工程とを含むことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項15】 前記有機金属気相法による窒化物の堆積工程は、前記A1とIII族元素の窒化物を形成する原料にハロゲン元素を混合する工程を含むことを特徴とする請求項14記載の光半導体装置の製造方法。

【請求項16】 前記有機金属気相法による窒化物の堆積工程は、前記ハロゲン元素を反応室中に、Nの気相原料とは別に供給する工程を含むことを特徴とする請求項15記載の光半導体装置の製造方法。

【請求項17】 前記有機金属気相法による窒化物の堆積工程は、ハロゲンを含む有機金属原料を使って実行されることを特徴とする請求項14記載の半導体装置の製造方法。

【請求項18】 基板と、

前記基板上にエピタキシャルに形成された、n型の導電型を有するIII族元素の窒化物よりなる第1のクラッド層と、

前記第1のクラッド層上にエピタキシャルに形成された、前記n型の導電型を有するIII族元素の窒化物よりなる第1の導波層と、

前記第1の導波層上にエピタキシャルに形成された、III族元素の窒化物を含む活性層と、

前記活性層上にエピタキシャルに形成された、p型の導電型を有するIII族元素の窒化物よりなるエレクトロンブロック層と、

前記エレクトロンブロック層上にエピタキシャルに形成された、p型の導電型を有するIII族元素の窒化物よりなる第2の導波層と、

前記第2の導波層上にエピタキシャル形成された、p型の導電型を有するIII族元素の窒化物よりなる第2のクラッド層と、

前記第2のクラッド層上にエピタキシャルに形成された、p型の導電型を有するIII族元素の窒化物よりなるコンタクト層と、

前記コンタクト層上に設けられた第1の電極と、

前記基板上に、電子を前記第1のクラッド層に注入するように設けられた第2の電極とよりなり、

前記エレクトロンブロック層と前記第2の導波層と前記第2のクラッド層と前記コンタクト層の各々は、いずれもMgによるドーピングされており、

前記第2の導波層および第2のクラッド層中におけるMg濃度は、前記エレクトロンブロック層中のMg濃度および前記コンタクト層中のMg濃度のいずれよりも低いことを特徴とする光半導体装置。

【請求項19】 前記第2の導波層中および第2のクラッド層中におけるMg濃度は、 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とする請求項18記載の光半導体装置。

【請求項20】 前記エレクトロンブロック層中および前記コンタクト層中におけるMg濃度は、 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ を超えることを特徴とする請求項19記載の光半導体装置。

【請求項21】 n型SiC基板と、

前記基板上にエピタキシャルに形成された、組成が $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ で表されるn型AlGaN層とよりなり、

前記 AlGaIn 層は、 $3 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の範囲のキャリア密度を有し、前記組成パラメータ x が 0 より大で 0.4 より小である ($0 < x < 0.4$) ことを特徴とする半導体ウェハ。

【請求項 22】 前記基板は、 $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の範囲のキャリア密度を有することを特徴とする請求項 21 記載の半導体ウェハ。

【請求項 23】 前記組成パラメータ x は、0.09 未満 ($x < 0.09$) であることを特徴とする請求項 21 または 22 記載の半導体ウェハ。

【請求項 24】 前記基板は、SiC の (0001) Si 面を有し、前記バッファ層は前記 (0001) Si 面において、前記基板に密接して形成されることを特徴とする請求項 21～23 のうち、いずれか一項記載の半導体ウェハ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は一般に光半導体装置に係り、特にレーザダイオードおよびその製造方法に関する。

レーザダイオード、発光ダイオードあるいはフォトダイオード等の光半導体装置は、光通信や光情報処理、さらに情報記録の分野において広く使われている。一般にレーザダイオードは赤色光から赤外光の波長領域において発振するが、光情報記録の分野では、より大きい記録密度を実現すべく、より短波長で発振するレーザダイオードが要求されている。また、かかる短波長に光に感応するフォトダイオードが要求されている。

【0002】

【従来の技術】

GaN はバンドギャップが大きく、波長が 400 nm 以下の青色あるいは紫外光領域で動作するレーザダイオードやフォトダイオードなどの光半導体装置を構成するのに有望な材料である。GaN 結晶を活性層に使った青色発光ダイオードはすでに実用化されている。また InGaIn 結晶を活性層として使った GaN/InGaIn/GaN ダブルヘテロ構造の青色レーザダイオードが公知である。かかる GaN を使った青色光半導体装置では、GaN 結晶によりバンドギャップの

小さい成分を導入した混晶を使うことにより、緑色の発光が得られる。

【0003】

ところで、Ga₂Nは六方晶系に属するウルツ鉱型の結晶構造を有しており、現在の技術では単結晶基板の作製が困難であるため、かかるGa₂Nを活性層とする光半導体装置では、前記Ga₂N活性層を、Ga₂Nと同様な六方晶系に属するサファイア(Al₂O₃)単結晶基板のc面上にエピタキシャル成長させることにより形成している。

【0004】

図1は、従来のGa₂N/InGa₂N/Ga₂NのMQW構造を有する青色レーザーダイオード1の構成を示す。

図1を参照するに、青色レーザーダイオード1はサファイア基板11上に形成され、前記基板11上に形成されたGa₂Nバッファ層12と、前記Ga₂Nバッファ層12上に形成されたn型Ga₂N電極層13と、前記電極層13上に形成された、組成がAl_{0.09}Ga_{0.91}Nを有するn型AlGa₂Nよりなる下側クラッド層14と、前記クラッド層14上に形成されたn型Ga₂N光導波層15と、前記n型光導波層15上に形成された、非ドープGa₂N/InGa₂N/Ga₂Nの積層構造を有するMQW活性層16と、前記MQW活性層16上に形成されたp型Ga₂N光導波層17と、前記p型光導波層17上に形成された組成がAl_{0.09}Ga_{0.91}Nを有するp型AlGa₂Nよりなる上側クラッド層18とを含み、前記上側クラッド層18には前記活性層16およびその上下の光導波層15、17中に導波路を形成する導波リッジ18Aが形成される。さらに、前記導波リッジ18Aの頂部にはp型Ga₂Nよりなるコンタクト層19が形成され、前記上側クラッド層18およびその上のGa₂Nコンタクト層18Aは、前記導波リッジ18Aの側壁面も含めてSiO₂等の絶縁膜20により覆われ、さらに前記絶縁膜20上には前記絶縁膜20中に形成されたコンタクトホールを介して前記Ga₂Nコンタクト層18Aとコンタクトするように、p型電極21が形成される。

【0005】

また、前記半導体層14～18よりなる積層構造は、前記基板11に実質的に垂直な側壁面W1、W2により画成され、また紙面の上下方向に対向する一対の

ミラー面により光共振器が形成される。さらに、前記基板11、バッファ層12およびその上の電極層13は前記側壁面W2を超えて延在し、前記電極層13の延在部上にn型電極22が形成される。

【0006】

かかる青色レーザダイオードは、390～420nmの範囲に発振波長を有し、特に高密度情報記録の分野において、重要な用途を有する。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、図1の青色レーザダイオード1では、サファイア結晶のc面がGaNに対して13%以上の格子不整合を有している結果、前記MQW層16を含む光学活性層15～17中に高濃度の結晶欠陥が導入されやすい問題点がある。また、レーザダイオード1では絶縁性のサファイア基板を使うため、通常の端面発光型のレーザダイオードと異なり基板底面に電極を設けることが困難で、このため形成するレーザダイオードの構成あるいは製造工程が複雑になってしまう問題点が存在する。さらに、サファイア基板はへき開性が乏しく、このため通常の閃亜鉛鉱型の結晶構造を有するレーザダイオードと異なり、へき開によりレーザダイオードのミラー面を形成するのが困難である。図1の青色レーザダイオード1では、前記一対のミラー面はドライエッチング法により形成されるが、かかる工程は時間がかかり、また形成されるミラー面の平坦性も垂直性も、へき開により形成される面の平坦性に及ばない。

【0008】

一方、かかるサファイア基板の代わりに、同じ六方晶系に属し、導電性を有するSiCをGaN活性層を有する光半導体装置の基板として使うことが提案されている。例えば、特開平10-135576号公報には、6H-SiC単結晶基板の(0001)Si面上にGaN活性層をエピタキシャル成長させる技術が記載されている。SiC基板はGaNに対する格子不整合が4%以下と小さく、また電気伝導性を有し、さらにサファイアよりも優れた熱伝導特性を有する好ましい特徴を備えている。このため、通常の端面発光型レーザダイオードと同様な構成の青色レーザダイオードを形成することができる。

【0009】

一方、このようなSiC基板上にGaN活性層をエピタキシャルに形成するためには、前記SiC基板上にGaNバッファ層を形成する必要があるが、GaNはSiC基板上において島状成長を生じ、その結果かかる構成のエピタキシャル構造ではGaN活性層を平坦に形成することが困難になる。また、これに伴い、GaN活性層中には様々な欠陥が導入され、活性層中におけるGaNとフォトンとの間の相互作用が阻害されるため、レーザダイオードの発光効率が低下する等の問題が生じる。

【0010】

このようなGaN膜の島状成長の問題は、SiC基板上にAlNあるいはAlGaN膜をバッファ層としてエピタキシャル成長し、その上にGaN膜を成長させることで回避できる。しかし、AlN膜に導電性を付与するのは、現在の技術では困難である。

一方、AlGaN膜の場合、Al組成が40%以下の範囲においてはn型の導電性を付与することが可能である。従って、このような組成範囲であれば、前記AlGaNバッファ層を介してGaN活性層とSiC基板とを電氣的に接続することが可能である。

【0011】

しかしながら、AlGaNバッファ層を使う場合、GaN活性層の下地として適当な平坦な表面を有し、しかも好ましい、十分な導電性を有するAlGaN膜を形成できる条件は、未だ不明のままであった。

そこで、本発明は上記の課題を解決した、新規で有用な光半導体装置およびその製造方法を提供することを概括的課題とする。

【0012】

本発明のより具体的な課題は、SiC基板上にGaを含むIII族元素の窒化物をエピタキシャル成長させた光半導体装置において、前記窒化物のエピタキシャル層を平坦化すると同時に、前記SiC基板と前記窒化物のエピタキシャル層との間に良好な電気伝導性を確保することにある。

本発明の他の課題は、簡単な構造で電流注入を所望のストライプ領域に確実に

制限でき、高出力においても効果的な横モード制御を行なえる光半導体装置を提供することにある。

【0013】

本発明の他の課題は、窒化物の選択成長領域を有する光半導体装置、およびその製造方法を提供することにある。

本発明の他の課題は、Gaを含むIII族元素の窒化物を活性層として含む光半導体装置において、前記活性層からの電子のオーバーフローを抑止するエレクトロンブロック層のドーピングプロファイルを、クラックを発生させず、しかも前記活性層中へのキャリアの閉じ込めを向上させ、しきい値電圧を低下させた光半導体装置を提供することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】

本発明は、上記の課題を、

請求項1に記載したように、

第1の導電型を有するSiC基板と、

前記基板上にエピタキシャルに形成された、前記第1の導電型を有し、組成が $Al_x Ga_{1-x} N$ で表されるAlGa_Nよりなるバッファ層と、

前記バッファ層上にエピタキシャルに形成された前記第1の導電型を有する第1のクラッド層と、

前記第1のクラッド層上にエピタキシャルに形成された活性層と、

前記活性層上にエピタキシャルに形成された、前記第1の導電型とは逆の第2の導電型を有する第2のクラッド層と、

前記第2のクラッド層に第1の極性の第1のキャリアを注入するように形成された第1の電極と、

前記SiC基板上に、第2の極性の第2のキャリアを注入するように形成された第2の電極とよりなり、

前記バッファ層は、前記第1の導電型のキャリアを、 $3 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の範囲の濃度で含み、前記組成パラメータxが0より大で0.4より小である($0 < x < 0.4$)ことを特徴とする光半導体装置により、または

請求項2に記載したように、

前記基板は、前記第1の導電型のキャリアを、 $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の範囲の濃度で含むことを特徴とする請求項1記載の光半導体装置により、または

請求項3に記載したように、

前記バッファ層において、前記組成パラメータ x は0.09未満($x < 0.09$)であることを特徴とする請求項1または2記載の光半導体装置により、または

請求項4に記載したように、

前記基板は、SiCの(0001)_{Si}面を有し、前記バッファ層は前記(0001)_{Si}面において、前記基板に密接して形成されることを特徴とする請求項1～3のうち、いずれか一項記載の光半導体装置により、または

請求項5に記載したように、

SiC基板上に、有機金属気相成長法により、組成が $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 0.4$)で表されるAlGa_xN膜を、成長圧力90 Torr以下でエピタキシャル成長させる工程を含むことを特徴とする光半導体装置の製造方法により、または

請求項6に記載したように、

第1の導電型を有するSiC基板と、

前記SiC基板上にエピタキシャルに形成された第1の導電型のAlGa_xNよりなるバッファ層と、

前記バッファ層上にエピタキシャルに形成された第1の導電型のAlGa_xNよりなる第1のクラッド層と、

前記第1のクラッド層上にエピタキシャルに形成された第1導電型のGa_xNよりなる光導波層と、

前記光導波層上にエピタキシャルに形成された、III族元素としてGaとInを含みV族元素としてNを含む活性層と、

前記活性層上にエピタキシャルに形成された第2の、逆導電型のAlGa_xNよりなる第2のクラッド層と、

前記第2のクラッド層に第1の極性の第1のキャリアを注入するように形成された第1の電極と、

前記SiC基板上に第2の、逆極性の第2のキャリアを注入するように形成された第2の電極とを備え、

前記SiC基板と前記活性層との間の間隔を約 $1.6\mu\text{m}$ 以上としたことを特徴とする光半導体装置により、または

請求項7に記載したように、

前記バッファ層は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ で表される組成を有し、前記第1のクラッド層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ で表される組成を有し、前記第2のクラッド層は $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ で表される組成を有し、前記バッファ層の組成パラメータ x は 0.08 以上 0.5 未満($0.08 \leq x < 0.5$)とされ、前記第1のクラッド層の組成パラメータ y は 0.05 以上で前記組成パラメータ x 以下($0.05 \leq y \leq x$)とされ、前記第2のクラッド層の組成パラメータ z は前記組成パラメータ y よりも小($z < y$)とされたことを特徴とする請求項6記載の光半導体装置により、または

請求項8に記載したように、

基板と、

前記基板上にエピタキシャルに形成された、第1の導電型を有する第1のクラッド層と、

前記第1のクラッド層上にエピタキシャルに形成された活性層と、

前記活性層上にエピタキシャルに形成された、第2の、逆導電型を有する第2のクラッド層と、

前記第2のクラッド層上にエピタキシャルに形成された、第2の導電型を有する第3のクラッド層と、

前記第3のクラッド層上に形成された、第2の導電型を有するコンタクト層と

前記コンタクト層上に形成された第1の電極と、

前記基板上に、前記第1のクラッド層に電氣的に接続されて形成された第2の電極とを備え、

前記第3のクラッド層はリッジ構造を形成し、

さらに前記第2のクラッド層と第3のクラッド層との間には、前記リッジに対応し、前記リッジの幅よりも狭い幅の開口部を有する絶縁膜が介在することを特徴とする光半導体装置により、または

請求項9に記載したように、

前記コンタクト層は、前記第3のクラッド層により形成されるリッジ構造の両側壁面および頂面を連続して覆うことを特徴とする請求項8記載の光半導体装置により、または

請求項10に記載したように、

前記第1の電極は、前記コンタクト層の両側壁面および頂面を連続して覆うことを特徴とする請求項9記載の光半導体装置により、または

請求項11に記載したように、

前記リッジ構造は前記絶縁膜を露出するリセス構造中に形成されており、前記第1の電極は、前記リセス構造を埋めることを特徴とする請求項10記載の光半導体装置により、または

請求項12に記載したように、

前記第3のクラッド層はIII族元素の窒化物よりなることを特徴とする請求項10記載の光半導体装置により、または

請求項13に記載したように、

第1の導電型を有する基板と、

前記基板上にエピタキシャルに形成された、第1の導電型を有する第1のクラッド層と、

前記第1のクラッド層上にエピタキシャルに形成された活性層と、

前記活性層上にエピタキシャルに形成された、第2の、逆導電型を有する第2のクラッド層と、

前記第2のクラッド層上にエピタキシャルに形成された、第2の導電型を有する第3のクラッド層と、

前記第3のクラッド層上に形成された、第2の導電型を有するコンタクト層と

前記コンタクト層上に形成された第1の電極と、
 前記基板上に形成された第2の電極とを備え、
 前記第3のクラッド層はT字型の断面を有するリッジ構造を形成し、
 前記第3のクラッド層の下部には、両側壁面からリッジ中心線に向かって切り込む一対の隙間が形成されていることを特徴とする光半導体装置により、または請求項14に記載したように、
 下地半導体層上に開口部を有する絶縁膜パターンを形成する工程と、
 前記絶縁膜パターン上に、AlとIII族元素の窒化物を有機金属気相成長法により堆積し、前記開口部に対応して前記下地半導体層上に、前記開口部に対応して前記窒化物の再成長領域を形成する工程とを含むことを特徴とする半導体装置の製造方法により、または
 請求項15に記載したように、
 前記有機金属気相法による窒化物の堆積工程は、前記AlとIII族元素の窒化物を形成する原料にハロゲン元素を混合する工程を含むことを特徴とする請求項14記載の光半導体装置の製造方法により、または
 請求項16に記載したように、
 前記有機金属気相法による窒化物の堆積工程は、前記ハロゲン元素を反応室中に、Nの気相原料とは別に供給する工程を含むことを特徴とする請求項15記載の光半導体装置の製造方法により、または
 請求項17に記載したように、
 前記有機金属気相法による窒化物の堆積工程は、ハロゲンを含む有機金属原料を使って実行されることを特徴とする請求項14記載の半導体装置の製造方法により、または
 請求項18に記載したように、
 基板と、
 前記基板上にエピタキシャルに形成された、n型の導電性を有するIII族元素の窒化物よりなる第1のクラッド層と、
 前記第1のクラッド層上にエピタキシャルに形成された、前記n型の導電性を有するIII族元素の窒化物よりなる第1の導波層と、

前記第1の導波層上にエピタキシャルに形成された、III族元素の窒化物を含む活性層と、

前記活性層上にエピタキシャルに形成された、p型の導電性を有するIII族元素の窒化物よりなるエレクトロンブロック層と、

前記エレクトロンブロック層上にエピタキシャルに形成された、p型の導電性を有するIII族元素の窒化物よりなる第2の導波層と、

前記第2の導波層上にエピタキシャル形成された、p型の導電性を有するIII族元素の窒化物よりなる第2のクラッド層と、

前記第2のクラッド層上にエピタキシャルに形成された、p型の導電性を有するIII族元素の窒化物よりなるコンタクト層と、

前記コンタクト層上に設けられた第1の電極と、

前記基板上に、電子を前記第1のクラッド層に注入するように設けられた第2の電極とよりなり、

前記エレクトロンブロック層と前記第2の導波層と前記第2のクラッド層と前記コンタクト層の各々は、いずれもMgによるドーピングされており、

前記第2の導波層および第2のクラッド層中におけるMg濃度は、前記エレクトロンブロック層中のMg濃度および前記コンタクト層中のMg濃度のいずれよりも低いことを特徴とする光半導体装置により、または

請求項19に記載したように、

前記第2の導波層中および第2のクラッド層中におけるMg濃度は、 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とする請求項18記載の光半導体装置。

【0015】

請求項20に記載したように、

前記エレクトロンブロック層中および前記コンタクト層中におけるMg濃度は、 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ を超えることを特徴とする請求項19記載の光半導体装置により、または

請求項21に記載したように、

n型SiC基板と、

前記基板上にエピタキシャルに形成された、組成が $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ で表され

る n 型 AlGa_N 層とよりなり、

前記 AlGa_N 層は、 $3 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の範囲のキャリア密度を有し、前記組成パラメータ x が 0 より大で 0.4 より小である ($0 < x < 0.4$) ことを特徴とする半導体ウェハにより、または

請求項 22 に記載したように、

前記基板は、 $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の範囲のキャリア密度を有することを特徴とする請求項 21 記載の半導体ウェハにより、または

請求項 23 に記載したように、

前記組成パラメータ x は、0.09 未満 ($x < 0.09$) であることを特徴とする請求項 21 または 22 記載の半導体ウェハにより、または

請求項 24 に記載したように、

前記基板は、SiC の (0001) _{Si} 面を有し、前記バッファ層は前記 (0001) _{Si} 面において、前記基板に密接して形成されることを特徴とする請求項 21 ~ 23 のうち、いずれか一項記載の半導体ウェハにより、解決する。

【0016】

【発明の実施の形態】

〔第 1 実施例〕

以下、Al_xGa_{1-x}N ($0 < x < 0.4$) を AlGa_N と記す。この組成範囲が n 型ドーピングが可能で、かつエピタキシャル層表面を平坦にできる範囲である。AlGa_N 層は、SiC 基板上に有機分子気相成長法 (MOVPE) によりエピタキシャルに成長することができる。成長圧力を 100 torr とした場合、AlGa_N の Al 組成を 9% 以上とした時、平坦な表面を得ることができる。

【0017】

n 型 SiC 基板上に、n 型 Al_xGa_{1-x}N バッファ層を成長し、その上に所望の GaN 系結晶層を積層して GaN 系レーザを形成することができる。このようにして作成した GaN 系半導体レーザは、発振波長 420 nm で発振し、しきい値電流は 500 mA、しきい値電圧は 2.2 V であった。

GaN 系半導体の pn 接合の作り付け電位は本来約 3 V であり、この値から期待される理想的な半導体レーザのしきい値は 4 ~ 5 V である。実際に必要であっ

たしきい値電圧 22 V は、pn 接合の作り付け電位から期待される理想値と較べると極めて大きな電圧である。

【0018】

本発明者は、しきい値電圧が高い原因を究明し、SiC 基板と AlGaIn バッファ層の間の界面抵抗が大きな原因の 1 つであることを解明した。

SiC と AlGaIn のバンド構造の詳細は、現在まで明確ではない。さらに、SiC と AlGaIn の界面には多くの結晶欠陥が存在する。従って、SiC-AlGaIn 界面の界面抵抗を下げる方法を理論的に究明することは非常に困難である。

【0019】

そこで、本発明者は実験的手法により SiC 基板とその上に成長するバッファ層との間の界面抵抗を低減できる解決策を求め、その結果を得た。

図 2 (A) に、実験に用いたサンプルの構成を概略的に示す。改良レイリー法によりバルク成長させた窒素ドープの n 型 SiC 基板 1 は、厚さ約 200 μm ，面積約 1 cm^2 であり、6H-ウルツ鉱型構造の (0001) Si 面を有する。n 型 AlGaIn 層 2 は、n 型不純物として Si を用い、SiC 基板上に MOVPE 法によりエピタキシャルに成長され、厚さ約 1 μm である。なお、電極とのコンタクト抵抗を低減させるため、n 型 AlGaIn 層 2 の上に、さらに n 型 GaN 層 3 を厚さ約 0.2 μm MOVPE 工程によりエピタキシャルに成長した。

【0020】

MOVPE 工程は、ソースガスとして例えばトリメチルガリウム (TMG)，トリエチルガリウム (TEG)，トリメチルアルミニウム (TMA)，トリメチルインジウム (TMI)，アンモニア (NH_3) を用い、不純物ガスとしてモノシラン (SiH_4) とビスシクロペンタジエニルマグネシウム (Cp_2Mg) を用い、成長温度 1090℃で行った。

【0021】

SiC 基板の裏面全面に Ni の電極 5 を形成し、n 型 GaN 層 3 の表面上に円形またはストライプ状の電極 6 を形成した。電極 6 は、Ti 層の上に Al 層を積層した積層電極である。円形電極の場合には、直径を 30 μm ~ 90 μm の範囲

で選択した。ストライプ状電極の場合、幅は $2\sim 15\mu\text{m}$ ，長さは $300\sim 900\mu\text{m}$ の範囲で選択した。n型AlGaIn層2およびn型SiC基板のn型キャリア濃度、n型AlGaIn層2のAl組成、MOVPEの成長圧力を変化させて、その結果を調べた。

【0022】

図2(B)は、n型AlGaIn層2のキャリア濃度を変化させた時の、SiC/AlGaIn界面の界面抵抗率の変化を示すグラフである。横軸はn型AlGaIn層中のn型キャリア濃度を対数スケール、単位 cm^{-3} で示し、縦軸は界面抵抗率を対数スケール、単位 Ωcm^2 で示す。n型SiC基板1のn型キャリア濃度は $1\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ とし、n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{In}$ 層のAl組成は $x=0.09$ とした。

【0023】

なお、グラフにはn型AlGaIn層中のキャリア濃度を $1\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ から $1\times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ まで変化させた時の界面抵抗率のプロットを示す。図1(A)に示す構成の場合、電極、SiC基板、AlGaIn層、GaIn層それぞれのバルク抵抗は無視できる程度の値であり、電極の接触抵抗、AlGaIn/GaInの界面抵抗も無視できる値である。従って、電極5，6間に電流を流した時に測定される抵抗は、実効的にSiC/AlGaInの界面抵抗のみである。

【0024】

図2(B)から明らかなように、界面抵抗率のプロットは、2つの直線r1，r2上に乗っている。すなわち、キャリア濃度が約 $5\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 以上の場合、界面抵抗率のプロットは勾配のゆるやかな直線r2上にあり、キャリア濃度が約 $5\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 以下の場合界面抵抗率のプロットは勾配の急な直線r1上にある。

【0025】

直線r2は直線r1よりも勾配がゆるやかであり、キャリア濃度を変化させたときの界面抵抗率の変化が小さいことを示している。また、勾配の異なる2つの直線は、直線r1の領域と直線r2の領域で異なる現象が生じていることを示唆する。

n型AlGa_N層2のキャリア濃度を約 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上にすれば、AlGa_N/SiC界面の界面抵抗率は勾配のゆるやかな直線r₂上にあり、低い界面抵抗を安定に得ることができる。

【0026】

メサ型Ga_N系半導体レーザ装置を作成した場合、全エピタキシャル層の抵抗が約10Ω程度となる。AlGa_N/SiC界面の界面抵抗は、この全エピタキシャル層の抵抗値よりも低くすることが望まれる。

エピタキシャル層の面積が $700 \mu\text{m} \times 4 \mu\text{m}$ 程度である場合、キャリア濃度が $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度であっても界面抵抗の値はエピタキシャル層の全抵抗よりも確実に小さなものとすることができる。従って、n型AlGa_N層2のキャリア濃度としては、約 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上が好ましく、約 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上がより好ましい。

【0027】

なお、n型AlGa_N層のキャリア濃度を $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ を越える値にしようとした場合、AlGa_N層表面に非常に多くの結晶欠陥が発生し、実験を行うことが困難であった。従って、n型AlGa_N層2のキャリア濃度は約 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下とすることが好ましい。

上記の実験においては、n型SiC基板上に成長するn型AlGa_N層2のキャリア濃度を変化させた。次に、n型SiC基板1のキャリア濃度を変化させ、界面抵抗率の変化を測定した。n型Al_xGa_{1-x}N層2のAl組成は $x=0.09$ 、キャリア濃度は $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ とした。

【0028】

図3は、n型SiC基板のキャリア濃度を変化させた時の界面抵抗率の変化を示すグラフである。図3中横軸はn型SiC基板1内のキャリア濃度を単位 cm^{-3} で対数スケールで示し、縦軸はSiC/AlGa_N界面の界面抵抗率を単位 $\Omega \text{ cm}^2$ で対数スケールで示す。グラフには、n型SiC基板のキャリア濃度を $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ から $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ まで変化させた時のプロットを示す。

【0029】

図3から明らかなように、得られたプロットは直線r₃、r₄上にある。すな

わち、n型SiC基板1のキャリア濃度が約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下の場合、界面抵抗率は直線r3上にあり、キャリア濃度が約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の場合、界面抵抗率は直線r4の上にある。直線r4は、直線r3よりも勾配がゆるやかであり、キャリア濃度を変化させても界面抵抗率の変化は小さい。

【0030】

SiC基板1のキャリア濃度を $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ よりも高くしようとした場合、SiCバルク結晶の結晶性が著しく劣化し、実験ができなかった。

従って、n型SiC基板1は、約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の範囲のキャリア濃度を有することが好ましい。キャリア濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ よりも小さくなると、界面抵抗は急激に増大する。キャリア濃度が $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ を越えるとSiC基板の結晶性が劣化する。

【0031】

次に、n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層2のAl組成xを変化させた場合界面抵抗率がどのように変化するかを調べた。n型SiC基板1のキャリア濃度は $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、n型AlGaIn層2のキャリア濃度は $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ とした。

図4は、n型AlGaIn層2のAl組成を変化させた時の界面抵抗率の変化の様子を示す。横軸はAl組成を単位%で示し、縦軸は界面抵抗率を示す。横軸、縦軸共にリニアスケールで示す。

【0032】

図4から明らかなように、得られた界面抵抗率のプロットは、直線r5、r6上にある。Al組成が約9%以下の領域においては勾配のゆるやかな直線r5上に界面抵抗率のプロットが存在し、Al組成が約9%を越えると、界面抵抗率のプロットは勾配のより急峻な直線r6上にあり、Al組成の増加と共に界面抵抗率は急峻に増加する。従って、n型AlGaInバッファ層2のAl組成は、9%未満とすることが好ましい。

【0033】

上述の結果は、結晶成長方法としてMOVPEを用いて得た。しかしながら、界面抵抗率は基本的にバンド構造と不純物濃度とに支配されると考えられる。従って、分子線エピタキシ(MBE)等の他の成長方法を用いても同様の結果が得

られると考えられる。

GaN系半導体結晶の結晶成長をMOVPEによって行う場合、成長圧力を100 torrとしていた。しかし、成長圧力を100 torrとした場合、平坦な表面のエピタキシャル層を得るためには、SiC基板上に直接成長するAlGaNバッファ層のAl組成を8%より大きくする必要がある。本発明の発明者は成長条件を種々に変化させた結果、成長圧力を下げることにより8%以下のAl組成のAlGaN層でも平坦な表面を形成することができることを見いだした。

【0034】

図5は、MOVPEによるAlGaN層成長において、成長圧力と平坦な表面を得るために必要な最低Al組成の関係を示す。横軸は成長圧力を単位torrでリニアスケールで示し、縦軸は最低Al組成を単位%でリニアスケールで示す。

図5を参照するに、成長圧力を低下させるに従い、平坦な表面を得るために必要な最低Al組成(%)は次第に減少しているのがわかる。言い換えると、低いAl組成のAlGaN層も、成長圧力を下げたMOVPEで成長すれば平坦な表面を有するようになる。

【0035】

なお、Al組成のプロットは、約±1%程度の誤差を含む。成長圧力100 torr, 70 torr, 50 torrのプロットは、ほぼ直線r7上に乗っているが、成長圧力20 torrのプロットは、この直線r7から幾分離れている。これが測定誤差によるものか、成長構造の変化によるものかは現在のところ不明である。

【0036】

本明細書においては、成長圧力に関連したAl組成x(%)の値は、約±1%の誤差を含むものとし、その値を約x%と表現する。

図5の結果から、約8%のAl組成を有し、平坦な表面を有するAlGaN層を成長するためには、成長圧力は90 torr以下とすることが好ましいと結論される。またAl組成約6%の平坦な表面を有するAlGaN層を成長するため

には、成長圧力は70 torr以下とすることが好ましい。Al組成約4%で平坦な表面を有するAlGa_{0.91}N層を成長するためには、成長圧力は50 torr以下とすることが好ましい。同様に、Al組成約2%で平坦な表面を有するAlGa_{0.91}N層を成長するためには、成長圧力を20 torr以下とすることが好ましい。

【0037】

以上説明した実験結果を利用することにより、n型SiC基板上にn型AlGa_{0.91}N層をエピタキシャルに成長し、低い界面抵抗と平坦な表面を実現することができる。従って、さらに必要なエピタキシャル層を積層することにより、しきい値電圧の低いGa_{0.91}N系半導体レーザ装置を実現することができる。SiC基板上にn側電極を形成した半導体装置を作成することができる。

【0038】

図6(A)，(B)は、上述の実験結果を利用したGa_{0.91}N系半導体レーザ100の構造を概略的に示す。

図6(A)を参照するに、n型SiC基板31は、6Hウルツ鉱型構造を有し、その表面は(0001)Si面である。n型SiC基板31には窒素がドーピングされており、n型の導電性を示す。n型キャリア濃度は、例えば $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ である。

【0039】

n型SiC基板31の表面上に、n型エピタキシャル構造30、活性層40、p型エピタキシャル構造50が積層されている。n型エピタキシャル構造30は、下からn型Al_{0.09}Ga_{0.91}Nのバッファ層32、n型Ga_{0.91}Nのバッファ層33、n型Al_{0.09}Ga_{0.91}Nのクラッド層34、n型Ga_{0.91}Nの光導波層35を含む。

【0040】

n型Al_{0.09}Ga_{0.91}Nバッファ層32は、例えば厚さ約0.15 μm，n型不純物Si濃度 $8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ を有する。n型Ga_{0.91}Nバッファ層33は、例えば厚さ約0.1 μm，n型不純物Si濃度 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ を有する。n型Al_{0.09}Ga_{0.91}Nのクラッド層34は、例えば厚さ約0.5 μm，n型不純物Si濃度約 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ を有する。

$\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ を有する。n型Ga_{0.97}Nの光導波層35は、例えば厚さ約0.1 μm ，n型不純物Si濃度約 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ を有する。

【0041】

活性層40はIn_{0.15}Ga_{0.85}N／In_{0.03}Ga_{0.97}Nで形成されるノンドープ多重量子井戸構造であり、3層のIn_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層と4層のIn_{0.03}Ga_{0.97}Nバリア層とが交互に配置された構造を有する。In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層は、例えば厚さ約4.0 nmであり、In_{0.03}Ga_{0.97}Nバリア層は例えば厚さ約5.0 nmである。

【0042】

p型エピタキシャル層構造50は、下からp型Al_{0.18}Ga_{0.82}Nのエレクトロンブロック層51，p型Ga_{0.97}Nの光導波層52，p型Al_{0.09}Ga_{0.91}Nのクラッド層53，p型Ga_{0.97}Nのコンタクト層54を含む。

p型Al_{0.18}Ga_{0.82}Nエレクトロンブロック層51は広いバンドギャップを有し、下方から進入する電子をブロックする役割を果たす。このエレクトロンブロック層51は、例えば厚さ約20 nmであり、p型不純物Mg濃度約 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ を有する。p型Ga_{0.97}N光導波層52は、例えば厚さ約0.1 μm ，p型不純物Mg濃度約 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ を有する。p型Al_{0.09}Ga_{0.91}Nクラッド層53は、例えば厚さ約0.5 μm ，p型不純物Mg濃度約 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ を有する。p型Ga_{0.97}Nコンタクト層54は、p型電極に対するコンタクト抵抗を低減させるための層であり、例えば厚さ0.2 μm ，p型不純物Mg濃度約 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ を有する。

【0043】

これらのエピタキシャル層は、減圧式のMOVPEにより、例えば成長圧力100 torrで成長することができる。成長原料としては、例えばトリメチルガリウム (TMG)，トリエチルガリウム (TEG)，トリメチルアルミニウム (TMA)，トリメチルインジウム (TMI)，アンモニア (NH₃) を使い、トーバント原料としてはモノシラン (SiH₄) とビスシクロペンタジエニルマグネシウム (Cp₂Mg) を用いることができる。n型SiC基板11は、種結晶を用いた気相成長法である改良レイリー法によりバルク成長したSiC基板を用

いることができる。

【0044】

n型層構造30の成長は、例えば成長温度1090℃、成長速度2 $\mu\text{m}/\text{hr}$ で成長することができる。活性層構造40は、例えば成長温度780℃、成長速度約0.3 $\mu\text{m}/\text{hr}$ で成長することができる。p型層構造50は、例えば成長温度1130℃、成長速度1 $\mu\text{m}/\text{hr}$ で成長することができる。

n型Al_{0.09}Ga_{0.91}Nバッファ層32がn型キャリア濃度約 $8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ を有するため、図2(B)のグラフから明らかなようにn型SiC基板31とn型Al_{0.09}Ga_{0.91}Nバッファ層12との界面の界面抵抗を低く抑えることができる。

【0045】

なお、n型SiC基板31としては厚さ200 μm の基板を用いてその上にエピタキシャル成長を行い、成長後SiC基板の裏面を研磨し、厚さを約100 μm 程度まで薄くする。その後、ドライエッチングによりエピタキシャル層表面に幅約3～5 μm 、たとえば3.5 μm 、高さ約0.4 μm のメサを形成する。クラッド層53の厚さ分布を形成することにより、屈折率ガイド構造が形成され、レーザの横モード制御が行われる。

【0046】

メサ表面に例えばSiO₂で形成された絶縁膜61を堆積し、窓を形成してn型GaNコンタクト層54表面を露出させる。窓の幅は、例えば1～4 μm 程度とする。

その後、SiC基板31裏面全面にNi層、Ti層、Au層を順次積層し、n側電極63を形成する。また、メサ上面にNi層、Ti層、Au層を順次積層し、パターンニングしてn側電極62を作成する。

【0047】

電極形成後、メサのストライプ方向と直交する方向に劈開を行い、図6(B)に示すように例えば長さ約700 μm のリッジ型共振器を形成する。ストライプの方向は[1-100]方向であり、劈開面は[1-100]面である。図6(B)の構造では、前記劈開面上にミラーHRが形成されている。

このような構造により、半導体レーザ素子を作成し、波長420nmで発振させることができた。駆動電源としてパルス電源を用い、1kHz~10kHzで駆動した。しきい値電圧500mA、しきい値電圧15Vが得られた。

【0048】

比較のため、n型Al_{0.09}Ga_{0.91}N層32のキャリア濃度を $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ としたサンプルも作成した。このサンプルにおいては、420nmで発振を行うことができたが、しきい値電流は500mA、しきい値電圧は22Vであった。すなわち、n型Al_{0.09}Ga_{0.91}N層32のキャリア濃度を $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ から $8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ に増加させたことにより、しきい値電圧を22Vから15Vに減少させることができた。

【0049】

さらに、SiC基板の濃度を $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ から $4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ に増加させ同様の半導体レーザを作成した。このレーザは420nmで発振し、しきい値電流は500mA、しきい値電圧は12Vであった。SiC基板のn型キャリア濃度を増大させたことにより、しきい値電圧がさらに3V低下した。

図2(B)に示す特性からは、n型Al_{0.09}Ga_{0.91}N層32のキャリア濃度をさらに増大させれば、しきい値電圧をさらに低下させることが可能であると推測される。また、図4の特性からは、n型AlGa_Nバッファ層のAl組成を0.09からより小さな値に減少させることにより、界面抵抗を減少させることができ、しきい値電圧をさらに減少させることができると期待される。

【0050】

Al組成を減少させ、かつ平坦な表面を得るためには、図5に示すように成長圧力を減少させることが好ましい。例えば、n型Al_{0.09}Ga_{0.91}N層32の代わりにn型Al_{0.04}Ga_{0.96}Nバッファ層を成長圧力40torrで形成する。他の層は図6で説明したものと同様であり、その製造プロセスも同様である。

n型Al_{0.04}Ga_{0.96}Nバッファ層のn型不純物Si濃度が約 $8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ とすれば、しきい値電圧は約10V程度と低下するであろう。n型SiC基板表面上に形成するn型AlGa_Nバッファ層のAl組成をさらに減少させれば、界面抵抗、従ってしきい値電圧はさらに低下すると考えられる。

〔第 2 実施例〕

本発明の発明者は、先に説明した図 6 (A), (B) の構造の青色レーザダイオード 100 について、前記 SiC 基板 31 と活性層 40 との間の介在する層の厚さとしきい値電流の関係を実験的に調べたところ、図 7 の関係を見出した。ただし図 7 中、縦軸はレーザダイオードのしきい値電流密度を示し、横軸は前記 SiC 基板 31 と活性層 40 との間に介在する膜の合計膜厚を示す。

【0051】

図 7 を参照するに、レーザダイオードのしきい値電流は、前記基板 31 と活性層 40 との間に介在する膜の厚さの合計が増大するにつれて減少する傾向を一般的に示し、特に前記合計膜厚が約 $1.6 \mu\text{m}$ に達するまでは急激に減少することがわかる。

この理由は明らかではないが、基板 31 と活性層 40 との間に介在するエピタキシャル層の合計膜厚が増大するにつれて、エピタキシャル層中の欠陥密度が減少するものと理解される。

【0052】

図 7 の結果は、このようにレーザダイオードのしきい値電流を低減するには、前記基板 31 と活性層 40 との間に介在するエピタキシャル層の合計膜厚を増大させればよいことを示しているが、一方でかかる合計膜厚大きくなりすぎると、基板 31 上に形成されたエピタキシャル層 30, 40, 50 中にクラックが生じやすい問題が生じる。これは、おそらく SiC 基板 31 とその上の窒化物エピタキシャル層との間の熱膨張係数差に起因する引っ張り応力が前記エピタキシャル層に作用する結果であると考えられる。

【0053】

これに対し、本発明の発明者は、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ で表される前記バッファ層 32 中の Al 組成 x よりも、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ で表される前記下側クラッド層 34 の Al 組成 y を小さく設定することにより、かかるクラックの発生が抑制されることを見出した。また、本発明の発明者は、前記下側クラッド層 34 中の Al 組成 y よりも、 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ で表される前記上側クラッド層 34 の Al 組成 z を小さく設定することにより、かかるクラックの発生がさらに抑制されること

を見出した。これは、SiC基板とエピタキシャル層との間の格子定数差により、前記バッファ層32あるいはクラッド層34、53を含むエピタキシャル層中に圧縮応力が誘起され、かかる圧縮応力が前記熱膨張係数差に起因する引っ張り応力を打ち消すためと理解される。

【0054】

図8は、本発明の第2実施例による青色レーザーダイオード200の構成を示す。ただし図8中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

図8を参照するに、レーザーダイオード200ではGaNバッファ層33が省略されており、前記AlGaNバッファ層32とAlGaNクラッド層34とGaN光導波層35の膜厚が、それぞれ $1.0\mu\text{m}$ 、 $1.5\mu\text{m}$ および $0.1\mu\text{m}$ に設定される。その結果、前記SiC基板31と活性層40との間の合計膜厚は $2.6\mu\text{m}$ となり、図7に示したように、しきい値電流が $7\sim 8\text{ kA/cm}^2$ 程度まで減少する。

【0055】

本実施例では、また前記下側クラッド層34中のAl組成が0.10で、バッファ層32中のAl組成0.15よりも小さく設定されており、さらに前記上側クラッド層53中のAl組成が0.08で、前記下側クラッド層34中のAl組成よりも小さく設定されている。その結果、図8のレーザーダイオード200では、前記基板31と活性層40との間のエピタキシャル層の合計膜厚をこのように増大させてもクラックが発生するおそれはない。

【0056】

本実施例のその他の特徴は、先に説明した青色レーザーダイオード100と同様であり、説明を省略する。

図9は、図8のレーザーダイオード200の一変形例によるレーザーダイオード210の構成を示す。ただし図中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0057】

本実施例では、前記バッファ層32とクラッド層34と光導波層35の厚さを

それぞれ $0.35\mu\text{m}$ 、 $1.15\mu\text{m}$ および $0.1\mu\text{m}$ とし、その結果、前記基板31と活性層40との間のエピタキシャル層の合計膜厚は $1.6\mu\text{m}$ になっている。また、前記バッファ層32と下側クラッド層34とは同一のAl組成0.10を有しているが、前記上側クラッド層53中のAl組成0.08は下側クラッド層34中のAl組成よりも小さく、このためSiC基板31上に形成されるエピタキシャル層中におけるクラックの発生は効果的に抑制される。

【第3実施例】

先に説明したリッジ型のレーザダイオード100、200あるいは210では、前記活性層40中における水平横モードの制御は、前記上側クラッド層53にメサ構造を形成することにより行われるが、十分な水平横モードの制御を行なおうとすると、メサの幅を $2\mu\text{m}$ 以下に設定する必要がある。しかし従来より、このような非常に細いメサ構造の形成は困難であった。また、このような構造では、メサの幅を $2\mu\text{m}$ 以下に設定した場合、前記メサ上において SiO_2 膜61中に形成される窓の幅も減少してしまい、その結果前記電極62とコンタクト層54との接触面積が減少してしまう。換言すると、先のリッジ型レーザダイオードは、素子抵抗が高くなる問題を有していた。また、このような非常に細いメサ構造上で SiO_2 膜61をパターンニングし、コンタクト窓を形成するのは非常に困難である。

【0058】

さらに、かかるレーザダイオードにおいては、垂直横モードに関連して、垂直方向における効果的な活性層への光の閉じ込めを実現しようとする、前記上側クラッド層53の厚さを増大させる必要があるが、クラッド層53の格子定数はバッファ層32の格子定数と異なるため、クラッド層53の厚さを増大させるとクラックが発生してしまう。このため、従来のリッジ型レーザダイオード100、200あるいは210では十分な光閉じ込めができず、その結果電極により損失が生じたり遠視野パターン(FFP)が単一ピークにならないなど、レーザダイオードの動作特性に悪影響が生じる。

【0059】

これに対し、図10(A)および図11(B)は、上記の課題を解決した本発

明の第3実施例によるレーザダイオード300の製造工程を示す。ただし、先に説明した部分に対応する部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

図10(A)を参照するに、n型SiC基板31上にはn型窒化物層32~35を含むn型エピタキシャル層構造30と活性層40とp型窒化物層51~54を含むp型エピタキシャル層構造50とが、図6(A)のレーザダイオード100と同様に積層され、最上層のp型GaNキャップ層54上には典型的にはSiO₂よりなる絶縁膜301が、熱CVD法により、約300nmの厚さに形成される。

【0060】

前記SiO₂膜301は次いでHFをエッチャントとして使ったフォトリソグラフィによりパターニングされ、前記GaNキャップ層54を露出する幅が約1μmのストライプ開口部301Wが、レーザダイオードの長手軸方向、すなわち<1-100>方向に沿って延在するように形成される。

次に、図11(B)の工程において、前記ストライプ開口部301Wにおいて露出したGaNキャップ層54上に、前記SiO₂膜301をマスクに組成がAl_{0.09}Ga_{0.91}Nのp型AlGaNを、MOVPE法により、前記クラッド層53を形成するのと同様な条件下で典型的には約1.4μmの厚さに堆積し、第3のクラッド層302を前記ストライプ開口部301Wに対応して形成する。このようにして形成されたクラッド層302は図11(B)中側方にも成長し、前記絶縁膜301を部分的に覆い、かつレーザダイオードの長手方向に延在するリッジ構造を形成する。

【0061】

さらに、図11(B)の工程では、前記クラッド層302上にp型GaNよりなるコンタクト層303を同様にMOVPE法により、前記クラッド層302の上面および両側壁面を連続して覆うように、約0.2μmの厚さに形成し、さらに前記コンタクト層303上に電極62を、前記コンタクト層303の上面および両側壁面を連続して覆うように形成する。最後に、前記レーザダイオード100の場合と同様に前記SiC基板31の底部を研磨し、電極63を形成する。

【0062】

本実施例によるレーザダイオード 300 では、図 10 (A) の工程において前記絶縁膜 301 のフォトリソグラフィが、前記 GaN キャップ層 54 の平坦な主面上において実行されるため、精度のよいパターニングが可能で、前記開口部 301W の幅を、必要に応じて容易に $1\mu\text{m}$ 以下に減少させることができる。

本実施例において、前記 GaN キャップ層 54 は、前記絶縁膜 301 を形成する際に、Al を含むクラッド層 53 の酸化を抑止するために設けられる。前記絶縁膜 301 は SiO_2 膜に限定されるものではなく、 SiN あるいは Al_2O_3 膜を使うことも可能である。

【0063】

さらに、本実施例による構造は、 SiC 基板 31 を使ったレーザダイオードのみならず、図 1 で説明したサファイア基板を使ったレーザダイオードに対しても適用可能である。サファイア基板を使う場合には、前記開口部 301W の延在方向はサファイアの $\langle 11-20 \rangle$ 方向、すなわち GaN の $\langle 1-100 \rangle$ 方向に設定される。

【0064】

本実施例のレーザダイオード 300 によれば、電極 62 がコンタクト層 303 を介してリッジ構造のクラッド層 32 の上面および両側面を連続して覆うため、電極 62 のコンタクト抵抗が減少する。また、活性層 40 へのキャリア（ホール）の注入が前記絶縁膜 301 中の細長い開口部 301W に限定されるため、クラッド層 302 自体の幅を厳しく制限しなくても、前記活性層 40 への電流狭搾が効果的に実現され、効果的な水平横モードの制御が実現される。

【0065】

さらに、前記クラッド層 302 は、幅の非常に狭い前記開口部 301W における選択成長により形成されるため、GaN キャップ層 54 あるいはクラッド層 53 の全面におけるエピタキシャル成長により形成される場合と異なり、格子の緩和が生じることがなく、厚く形成してもクラックが発生することがない。このため、垂直方向への効果的な光の閉じ込めが実現され、遠視野パターンが向上する。また、電極 62 による光損失も抑制される。

【0066】

ところで、図 11 (B) の工程において、前記絶縁膜 301 をマスクとした前記クラッド層 302 あるいはコンタクト層 303 の選択成長時に、前記絶縁膜 301 上に粒子状の析出物が生じる場合がある。

このような粒子状の析出物が生じると、前記電極 62 を形成した場合に密着性が劣化してしまうおそれがある。

【0067】

そこで、このような場合には、図 11 (B) の工程において、前記クラッド層 302 およびコンタクト層 303 の形成の後、前記 SiO_2 膜 301 を HF 等により除去してもよい。前記 SiO_2 膜 301 の除去に伴い、その上に堆積していた粒子状の析出物も除去される。

このようにして形成した、本実施例の一変形例によるレーザダイオード 310 を図 12 に示す。

【0068】

図 12 を参照するに、前記クラッド層 302 は、図 11 (B) の場合と同様な基部の面積が縮小した逆 T 字型の断面形状を有するが、図 11 (B) の SiO_2 膜 301 はエアギャップ 301G に置き換えられ、図 6 (A) の場合と同様な SiO_2 膜 61 が前記 GaN 膜 54 の露出表面およびコンタクト層 303 を覆う。さらに前記 SiO_2 膜 61 には開口部が形成され、前記電極 62 が前記開口部を介して前記コンタクト層 303 とコンタクトする。

【0069】

前記 SiO_2 膜 61 は一般に熱 CVD 法のような気相堆積法により形成されるが、このような場合には SiO_2 膜 61 の一部が前記エアギャップ 301G 中に侵入する場合もある。すなわち、前記レーザダイオード 310 において、前記エアギャップ 301G は SiO_2 により完全に、あるいは部分的に充填されていてもよい。

【0070】

前記レーザダイオード 300 あるいは 310 において、前記コンタクト層 303 は必要に応じて省略することもできる。

〔第 4 実施例〕

図13(A)は、先の実施例によるレーザダイオード300あるいは310の製造工程において、前記クラッド層302あるいはコンタクト層303を選択成長させる際にマスクとして使われる絶縁膜301の平面図である。

【0071】

図13(A)を参照するに、前記絶縁膜301においては幅が $1\mu\text{m}$ の直線状開口部が $300\mu\text{m}$ の繰り返し周期で形成されており、このためこのような絶縁膜301をマスクにMOVPE法を行なった場合、供給された原料の大部分は絶縁膜301上に堆積するため、析出物が形成されやすい。

これに対し、本実施例において提案する図13(B)のマスク301Aでは、幅が例えば $6\mu\text{m}$ の一对の直線状絶縁膜ストライプ301aおよび301bを、間に幅が $1\mu\text{m}$ の直線的に延在する隙間301nを隔てて配置した構造のマスクパターン301cが、 $300\mu\text{m}$ の繰り返し周期で形成されており、その結果、一のマスクパターン301cと隣接するマスクパターン301cとの間には、下地のGaN膜54を露出する幅の広い開口部301wが形成される。

【0072】

かかる構成のマスク301Aを選択成長工程において使った場合、供給される気相原料の大部分は露出されたGaN膜54上に堆積してエピタキシャル層を形成するため、マスクパターン301aあるいは301b上に堆積する原料の割合は最小化され、これに伴い粒子状堆積物の形成も最小化される。

図14は、選択成長工程において図13(B)のマスク301Aを使った、本発明の第4実施例によるレーザダイオード400の構成を示す。ただし、図14中、先に説明した部分に対応する部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0073】

図14を参照するに、前記p型GaNキャップ層54上には図13(B)のマスク301Aが、 SiO_2 パターンとして形成されており、前記マスク301Aを使ってMOVPE工程を実行することにより、前記直線状開口部301nに対応して、先の実施例と同様にp型AlGaNクラッド層302およびp型GaNコンタクト層303が順次形成される。同時に、前記マスク301Aを構成する

マスクパターン 301c の外側に、前記クラッド層 302 と実質的に同一の組成の p 型 AlGaIn エピタキシャル層 302A と、前記コンタクト層 303 と実質的に同一の組成の p 型 GaIn エピタキシャル層 303A とが、順次形成される。その際、前記クラッド層 302 および 303 よりなる構造と前記エピタキシャル層 302A および 302B よりなる構造との間には、前記 SiO₂ マスク 301A を露出するリセス部が形成される。

【0074】

前記エピタキシャル層 303A はさらに別の SiO₂ 膜 304 により覆われ、前記 SiO₂ 膜 304 中に前記リセス部に対応して前記コンタクト層 303 を露出する開口部を形成した後、前記 SiO₂ 膜 304 上に前記リセス部を埋めるように前記電極 62 が形成される。前記 SiO₂ 膜 304 は、例えば熱 CVD 法により約 200 nm の厚さに形成され、さらに HF を使ったウェットエッチングにより、前記開口部が形成される。

【0075】

先にも説明したように、かかる構造ではマスク 301A 上への粒子状析出物の形成が最小化され、レーザダイオードを歩留まり良く製造することが可能になる。また、図 14 のレーザダイオード 400 では、電極 62 は大面積に形成できるため、またおおよそ平坦な主面を有するため、実装が容易になる。

【第 5 実施例】

先にも説明したように、レーザダイオード 300、310、あるいは 400 においては、絶縁膜マスクを使った選択成長工程において、絶縁膜マスク上に粒子状の析出物が形成されやすい問題がある。これは、特に AlGaIn よりなるクラッド層 302 を形成する場合に深刻になる。これは AlGaIn 中に含まれる AlN 成分が特に SiO₂ 膜上に付着しやすく、かかる付着した AlN を核として AlGaIn 粒子の堆積が生じるものと考えられる。

【0076】

これに対し、本発明の発明者は、SiO₂ マスクを使った AlGaIn の MOVPE 法による選択成長に関する実験において、気相原料と同時にハロゲン元素を含むガスを供給することにより、かかる粒子状析出物の形成が抑制されることを

発見した。

図15 (A) ~ (F) は、本発明者による実験を説明する。

【0077】

図15 (A) を参照するに、6H-SiC基板501を有機洗浄および水洗した後、HF中において1分間浸漬する。このように処理した基板501をMOVPE装置の反応室中に、SiCの(0001)_{Si}面上に堆積が生じるように装着し、真空排気後、水素雰囲気中、1080°Cにおいて5分間熱処理し、基板表面の酸化膜を除去する。次に、基板温度を1050°Cまで降下させ、TMG, TMAおよびNH₃をH₂キャリアガスと共に、それぞれ44 μmol/min, 8 μmol/minおよび0.1 μmol/minの流量で供給し、基板に吹き付けることにより、AlGaN膜502を1 μmの厚さにエピタキシャル形成する。

【0078】

次に、図15 (B) の工程においてTMG, TMAの供給を停止し、NH₃のみを吹き付けながら、基板温度を600°C以下に降下させ、前記反応室中の雰囲気をN₂ 雰囲気に置換する。さらに室温まで冷却した後、前記基板501を反応室から取り出し、CVD法により、前記AlGaN膜上にSiO₂ 503膜を、0.2 μmの厚さに形成する。

【0079】

さらに、図15 (C) の工程において、前記SiO₂ 膜503上にレジスト膜を塗布し、さらにこれをパターニングして幅が2 μmのレジストパターン504を30 μmピッチで形成する。

次に、図15 (D) の工程において、前記レジストパターン504をマスクに、前記SiO₂ 膜503をHFを使ったウェットエッチング工程によりパターニングし、前記AlGaN膜502を露出するラインアンドスペースパターンを形成する。さらに、図15 (E) の工程において前記レジストパターン504を剥離液を使って除去した後、図15 (F) の工程において基板501を前記MOVPE装置の反応室中に戻す。さらに前記反応室中を真空排気し、水素雰囲気中、NH₃を流しながら1050°Cまで昇温し、前記AlGaN膜502の露出部

から自然酸化膜を除去した後、TMG, TMA, CH_3Cl および NH_3 を、 H_2 キャリアガスと共に、それぞれ $44\ \mu\text{mol}/\text{min}$ 、 $8\ \mu\text{mol}/\text{min}$ 、 $52\ \mu\text{mol}/\text{min}$ および $0.1\ \mu\text{mol}/\text{min}$ の流量で供給し、前記基板表面に吹き付けることにより、前記 AlGaIn 膜 502 の露出部に、選択的に AlGaIn 膜 504 をエピタキシャル成長させる。

【0080】

図15 (F) の工程では、さらに前記 AlGaIn 膜 504 の選択成長の後、前記反応室中に NH_3 を供給しながら基板温度を 600°C 以下に冷却し、さらに前記反応室中の雰囲気気を N_2 雰囲気気に置換した後、室温まで基板温度を降下させる。

本実施例による選択成長方法では、図15 (F) の工程において CH_3Cl を気相原料と共に供給することにより、 CH_3Cl の熱分解により形成された Cl 等のハロゲンと Al とが相互作用をし、 SiO_2 マスク 503 上における AlN 結晶核の生成が抑制され、その結果多結晶堆積物の形成が抑制されと考えられる。その際、特に CH_3Cl は、V族元素の原料ガスである NH_3 の導入ポートとは別の導入ポートから供給するのが好ましい。本実施例では、前記 AlN 結晶核の生成を Al とハロゲンとを反応させることにより抑制しているが、その際、ハロゲンは Cl に限定されるものではなく、他の元素、例えば F 等も使用可能である。また、ハロゲンを供給するのに使われるガスは、 CH_3Cl に限定されるものではない。

【0081】

また、本実施例による選択成長方法は、リッジ型青色レーザダイオードの製造のみならず、 Al を含む III 族元素の窒化物を、絶縁膜マスクを使って選択的にエピタキシャル成長する工程を含む半導体装置の製造工程一般に適用可能である。

〔第6実施例〕

先に説明した青色レーザダイオード 100, 200, 300, 310, 400 では、いずれも活性層 40 に隣接して、 p 型エピタキシャル構造 50 の側に高濃度の Mg でドーピングされた AlGaIn よりなるエレクトロンブロック層 51 が形成

されており、その外側に p 型 GaN よりなる光導波層 52 および p 型 AlGaIn よりなるクラッド層 53 が形成されている。エレクトロンブロック層 51 は一般に Al 組成がクラッド層 53 よりも大きく広いバンドギャップを有し、活性層 40 に注入された電子が、抵抗率の比較的高い p 型エピタキシャル構造 50 中に形成される高電界により、活性層 40 からオーバーフローするのを阻止するために設けられる。

【0082】

図 16 は、特開平 10-56236 号公報に記載された、サファイア基板上に形成される従来のリッジ型青色レーザーダイオードにおいて使われている Mg 濃度プロファイルを、活性層よりも上側の部分について示す。

図 16 を参照するに、上記従来のレーザーダイオードでは、AlGaIn よりなる前記エレクトロンブロック層、その上の GaN よりなり SCH 構造の一部を形成する光導波層、さらにその上の AlGaIn よりなるクラッド層の Mg 濃度が約 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ に設定されており、一方最上部の GaN コンタクト層においてのみ、Mg 濃度が約 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ に設定されている。また、先の実施例で説明したレーザーダイオード 100 においても、同様な Mg 濃度プロファイルが使われている。

【0083】

しかし、このような Mg 濃度プロファイルを使った窒化物レーザーダイオードでは、エピタキシャル層中にクラックが発生するのが避けられない。かかるクラックはレーザーダイオードの効率を低下させ、しきい値電圧を上昇させるため、可能な限り減少させるのが好ましい。

本発明の発明者は、先に説明したレーザーダイオード 100 において、活性層よりも上の p 型 GaN 光導波層 52 およびその上の p 型 AlGaIn クラッド層 53 中の Mg 濃度を減少させた場合、レーザーダイオードを構成するエピタキシャル層中に発生するクラックの密度が実質的に減少するのを見出した。

【0084】

図 17 を参照するに、前記光導波層 52 およびクラッド層 53 中の Mg 濃度を、従来より一般的に使われている $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ から減少させると、前記クラ

ッド層53の表面において観察されるクラックの密度が急激に減少し、Mg濃度が約 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下、特に約 $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下になると、実質的にゼロになることがわかる。ただし、図17中、縦軸はクラック密度を、横軸はMg濃度を示す。

【0085】

かかるクラック密度の減少に伴い、レーザダイオード100の素子抵抗も、図18に示すように前記光導波層52およびクラッド層53中のMg濃度の減少に伴い急激に減少し、 $3 \sim 4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のところで最小値になる。ただし、図18中、横軸はMg濃度を、縦軸はレーザダイオード100において100mAの電流を流すのに必要な印加電圧を示す。図18において、Mg濃度をさらに減少させると素子抵抗は再び増加するのがわかるが、これは光導波層52およびクラッド層53中のキャリア密度が減少することに起因するものと思われる。

【0086】

図19は、図6(A)，(B)のレーザダイオード100において、図17，18の発見を勘案して最適化したMgドーピングプロファイルを示す。

図19を参照するに、前記活性層40上の、組成が $\text{Al}_{0.18}\text{Ga}_{0.82}\text{N}$ のp型 AlGaIn よりなるエレクトロンブロック層51は約20nmの厚さを有し、約 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ のMg濃度にドーピングされている。一方、前記エレクトロンブロック層51上には、Mg濃度が約 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の GaIn 光導波層52が約100nmの厚さに形成され、さらに前記光導波層52上には、組成が $\text{Al}_{0.09}\text{Ga}_{0.91}\text{N}$ でMg濃度が同じく約 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の AlGaIn クラッド層53が、約550nmの厚さに形成される。さらに、前記クラッド層53上にはMg濃度が約 $1.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の GaIn よりなるコンタクト層54が、約80nmの厚さに形成される。

【0087】

本実施例によれば、前記光導波層52とクラッド層53中のMg濃度を前記約 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のレベル以下に抑制することにより、エピタキシャル層中のクラック密度を最小化し、レーザダイオードの素子抵抗を最小化できる。また、前記エレクトロンブロック層51中のMg濃度および前記コンタクト層54中のM

g 濃度を前記約 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のレベル以上に増大させることにより、レーザダイオードのしきい値が減少し、あるいは不純物濃度の不足によるレーザダイオードの素子抵抗の増大が回避される。

【0088】

図20は、図19のMg濃度プロファイルにおいて、前記光導波層52とクラッド層53中のMg濃度を、図18、19に従って約 $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ まで減少させた実施例を示す。この場合にも、高濃度にドーピングされたエレクトロンブロック層51とコンタクト層54とを組み合わせることにより、前記レーザダイオード100を構成するエピタキシャル層中におけるクラック密度がほとんどゼロとなり、素子抵抗が最小化される。

【0089】

以上、本発明を好ましい実施例について説明したが、本発明はかかる特定の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載した要旨内において様々な変形・変更が可能である。

【0090】

【発明の効果】

請求項1～5記載の本発明の特徴によれば、

第1の導電型を有するSiC基板と、前記基板上にエピタキシャルに形成された、前記第1の導電型を有し、組成が $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ で表されるAlGaInよりなるバッファ層と、前記バッファ層上にエピタキシャルに形成された前記第1の導電型を有する第1のクラッド層と、前記第1のクラッド層上にエピタキシャルに形成された活性層と、前記活性層上にエピタキシャルに形成された、前記第1の導電型とは逆の第2の導電型を有する第2のクラッド層と、前記第2のクラッド層に第1の極性の第1のキャリアを注入するように形成された第1の電極と、前記SiC基板上に、第2の極性の第2のキャリアを注入するように形成された第2の電極とよりなる光半導体装置において、前記バッファ層中のキャリア濃度を $3 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の範囲に設定することにより、またさらに前記SiC基板中のキャリア濃度を $3 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の範囲に設定することにより、またさらに前記AlGaInバッファ層中のAl組成を0.09未

満に設定することにより、またさらに前記 AlGaAs バッファ層を SiC 基板の $(0001)_{\text{Si}}$ 面上に形成することにより、また前記 AlGaN バッファ層を SiC 基板上に MOVPE 法により、90 Torr 以下の圧力で形成することにより、基板とバッファ層との間の界面抵抗を最小化することが可能になる。

【0091】

請求項 6～7 記載の本発明の特徴によれば、

SiC 基板上に III 族元素の窒化物よりなるバッファ層と第 1 のクラッド層、さらに光導波層を介して III 族元素の窒化物よりなる活性層を形成し、さらに前記活性層上に III 族元素の窒化物よりなる第 2 のクラッド層を形成した光半導体装置において、前記 SiC 基板と前記活性層との間の間隔を約 $1.6 \mu\text{m}$ 以上とし、また前記バッファ層の組成パラメータ x を 0.08 以上 0.5 未満 ($0.08 \leq x < 0.5$) とし、前記第 1 のクラッド層の組成パラメータ y を 0.05 以上で前記組成パラメータ x 以下 ($0.05 \leq y \leq x$) とし、前記第 2 のクラッド層の組成パラメータ z を前記組成パラメータ y よりも小 ($z < y$) としたことを特徴とする光半導体装置により、SiC 基板上に形成される III 族元素の窒化物を活性層とする光半導体装置において、しきい値電流を最小化することが可能である。

【0092】

請求項 8 記載の本発明の特徴によれば、

基板と、前記基板上にエピタキシャルに形成された第 1 の導電型を有する第 1 のクラッド層と、前記第 1 のクラッド層上にエピタキシャルに形成された活性層と、前記活性層上にエピタキシャルに形成された第 2 の、逆導電型を有する第 2 のクラッド層とを備えた光半導体装置において、さらに前記第 2 のクラッド層上にエピタキシャルに形成された第 2 の導電型を有する第 3 のクラッド層と、前記第 3 のクラッド層上に形成された第 2 の導電型を有するコンタクト層と、前記コンタクト層上に形成された第 1 の電極と、前記基板上に形成された第 2 の電極とを設け、前記第 3 のクラッド層によりリッジ構造を形成し、さらに前記第 2 のクラッド層と第 3 のクラッド層との間に、前記リッジに対応し、前記リッジの幅よりも狭い幅の開口部を有する絶縁膜を形成したことを特徴とする光半導体装置に

より、非常に狭いリッジ領域に選択的に電流注入がなされ、効果的な水平横モード制御が可能になる。その結果、光半導体装置は低出力から高出力まで、キンク等の異常を含まない、スムーズな駆動特性を示す。

【0093】

請求項9～12記載の本発明の特徴によれば、請求項8記載の光半導体装置において、前記コンタクト層を、前記第3のクラッド層により形成されるリッジ構造の両側壁面および頂面を連続して覆うように形成し、さらに前記第1の電極を、前記コンタクト層の両側壁面および頂面を連続して覆うように形成することにより、また前記リッジ構造を前記絶縁膜を露出するリセス構造中にメサの形で形成し、前記第1の電極を前記リセス構造を埋めるように形成することにより、従来より使われていた、リッジを形成するメサ構造上における電流狭搾窓の形成工程が省略でき、光半導体装置の製造工程が実質的に簡素化される。また、前記第1の電極は、前記リッジを構成するメサ構造の上面のみならず両側面も覆うため、コンタクト面積が増大し、コンタクト抵抗が減少する。本発明の構成は、特に前記第2のクラッド層の可能な厚さに限界があるⅢⅢⅢ族元素の窒化物を使った光半導体装置において有効である。すなわち、本発明においては、メサを形成する第3のクラッド層としてⅢⅢⅢ族元素の窒化物を使うことにより、クラッド層全体の厚さを、クラックを生じること無く厚くすることができる。これにより、クラッドの外側への光のしみだし、およびこれに伴う遠視野像の乱れが効果的に抑制される。

【0094】

請求項13に記載の本発明の特徴によれば、

第1の導電型を有する基板と、前記基板上にエピタキシャルに形成された、第1の導電型を有する第1のクラッド層と、前記第1のクラッド層上にエピタキシャルに形成された活性層と、前記活性層上にエピタキシャルに形成された、第2の、逆導電型を有する第2のクラッド層とを備えた光半導体装置において、さらに前記第2のクラッド層上にエピタキシャルに形成された、第2の導電型を有する第3のクラッド層と、前記第3のクラッド層上に形成された、第2の導電型を有するコンタクト層と、前記コンタクト層上に形成された第1の電極と、前記基

板上に形成された第2の電極とを設け、前記第3のクラッド層を逆T字型の断面を有するリッジ構造に形成し、前記第3のクラッド層の下部に、両側壁面からリッジ中心線に向かって切り込む一对の隙間を形成することにより、前記第3のクラッド層を絶縁膜をマスクに選択成長により形成する際に、絶縁膜マスクの面積を最小化でき、これに伴い、選択成長を行なう場合にかかる絶縁マスク上において生じやすい粒子状析出物の形成を最小化できる。また、前記絶縁マスク自体は選択成長工程の後で除去されるため、前記第1の電極を前記リッジ構造を覆うように形成した場合にかかる粒子状析出物により前記第1の電極の密着性が劣化することがない。前記第3のクラッド層は逆T字型断面を有するため、基部の面積が減少しており、リッジ領域に対応した選択的な電流注入が可能になる。

【0095】

請求項14～17記載の本発明の特徴によれば、AlとIII族元素の窒化物を有機金属気相成長法により、絶縁膜パターン上に堆積し、絶縁膜パターン中に形成された開口部に対応して再成長領域を形成することが可能になる。特に、その際気相原料と共にハロゲンを使うことにより、絶縁膜パターン上への粒子状析出物の堆積を最小化することができる。

【0096】

請求項18～20記載の本発明の特徴によれば、

基板と、前記基板上にエピタキシャルに形成された、n型の導電性を有するIII族元素の窒化物よりなる第1のクラッド層と、前記第1のクラッド層上にエピタキシャルに形成された、前記n型の導電性を有するIII族元素の窒化物よりなる第1の導波層と、前記第1の導波層上にエピタキシャルに形成された、III族元素の窒化物を含む活性層と、前記活性層上にエピタキシャルに形成された、p型の導電性を有するIII族元素の窒化物よりなるエレクトロンブロック層と、前記エレクトロンブロック層上にエピタキシャルに形成された、p型の導電性を有するIII族元素の窒化物よりなる第2の導波層と、前記第2の導波層上にエピタキシャル形成された、p型の導電性を有するIII族元素の窒化物よりなる第2のクラッド層と、前記第2のクラッド層上にエピタキシャルに形成された、p型の導電性を有するIII族元素の窒化物よりなるコンタクト層と、前

記コンタクト層上に設けられた第1の電極と、前記基板上に電子を注入するように設けられた第2の電極とよりなる光半導体装置において、前記エレクトロンブロック層と前記第2の導波層と前記第2のクラッド層と前記コンタクト層の各々を、いずれもMgによりドーピングし、その際前記第2の導波層および第2のクラッド層中におけるMg濃度を、前記エレクトロンブロック層中のMg濃度および前記コンタクト層中のMg濃度のいずれよりも低く設定することにより、特に前記第2の導波層中および第2のクラッド層中におけるMg濃度を、 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下に設定することにより、あるいは前記エレクトロンブロック層中および前記コンタクト層中におけるMg濃度を、 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ を超えるように設定することにより、光半導体装置を構成するエピタキシャル層中におけるクラックの発生が最小化され、同時に駆動電圧が低減される。

【0097】

請求項21～24記載の本発明によれば、n型SiC基板と、前記基板上にエピタキシャルに形成された、組成が $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ で表されるn型AlGaNバッファ層とよりなる半導体ウェハにおいて、前記AlGaN層のキャリア密度を $3 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の範囲に設定し、前記組成パラメータxを0より大で0.4より小($0 < x < 0.4$)に設定することにより、またさらに前記SiC基板中のキャリア濃度を $3 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の範囲に設定することにより、またさらに前記AlGaNバッファ層中のAl組成を0.09未満に設定することにより、またさらに前記AlGaAsバッファ層をSiC基板の(0001)_{Si}面上に形成することにより、基板とバッファ層との間の界面抵抗を最小化することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

従来の青色レーザダイオードの構成を示す図である。

【図2】

(A), (B)は、本発明の第1実施例の基礎となる実験で使われた試料、および実験結果を示す図である。

【図3】

本発明第 1 実施例の基礎となる実験の別の結果を示す図である。

【図 4】

本発明第 1 実施例の基礎となる実験の別の結果を示す図である。

【図 5】

本発明第 1 実施例の基礎となる実験の別の結果を示す図である。

【図 6】

(A), (B) は、本発明の第 1 実施例によるレーザダイオードの構成を示す図である。

【図 7】

本発明の第 2 実施例の基礎となる実験の結果を示す図である。

【図 8】

本発明の第 2 実施例によるレーザダイオードの構成を示す図である。

【図 9】

図 8 のレーザダイオードの一変形例を示す図である。

【図 10】

(A) は、本発明の第 3 実施例によるレーザダイオードの製造工程を示す図（その 1）である。

【図 11】

(B) は、本発明の第 3 実施例によるレーザダイオードの製造工程を示す図（その 2）である。

【図 12】

本発明第 3 実施例によるレーザダイオードの一変形例を示す図である。

【図 13】

(A), (B) は、本発明第 3 実施例の選択成長工程で使われるマスク、および本発明第 4 実施例の選択成長工程で使われるマスクを示す図である。

【図 14】

本発明の第 4 実施例によるレーザダイオードの構成を示す図である。

【図 15】

(A) ~ (F) は、本発明の第 5 実施例による選択成長工程を示す図である。

【図 16】

従来の青色レーザダイオードにおける p 型エピタキシャル層中の不純物分布を示す図である。

【図 17】

本発明の第 6 実施例の基礎となる実験結果を示す図である。

【図 18】

本発明第 6 実施例の基礎となる実験結果を示す別の図である。

【図 19】

本発明の第 6 実施例によるレーザダイオードで使われる不純物分布を示す図である。

【図 20】

図 19 の一変形例による不純物分布を示す図である。

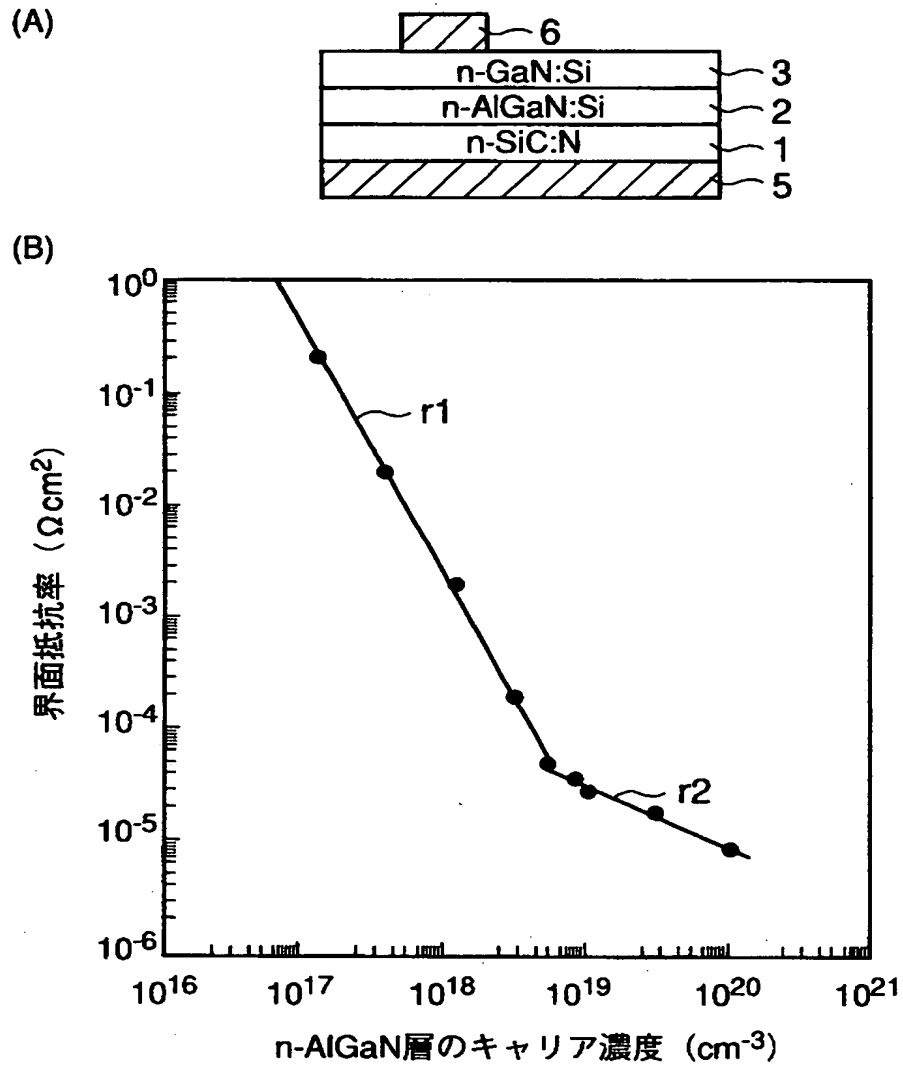
【符号の説明】

- 1 n 型 SiC 基板
- 2 n 型 AlGaIn エピタキシャル層
- 3 n 型 GaN エピタキシャル層
- 5, 6 n 型電極
- 11 サファイア基板
- 12 バッファ層
- 13 GaN 電極層
- 14 n 型 AlGaIn 下側クラッド層
- 15 n 型 GaN 光導波層
- 16 MQW 活性層
- 17 p 型 GaN 光導波層
- 18 p 型 AlGaIn 上側クラッド層
- 19 p 型 GaN コンタクト層
- 20 SiO₂ 膜
- 21 p 型電極
- 22 n 型電極

- 30 n型エピタキシャル構造
- 31 n型SiC基板
- 32 n型AlGa_Nバッファ層
- 33 n型Ga_Nバッファ層
- 34 n型AlGa_Nクラッド層
- 35 n型光導波層
- 40 活性層
- 50 p型エピタキシャル構造
- 51 n型AlGa_Nエレクトロンブロック層
- 52 p型光導波層
- 53 p型AlGa_Nクラッド層
- 54 p型Ga_Nコンタクト層
- 61 SiO₂ 膜
- 62 p型電極
- 63 n型電極
- 301, 301A, 301c SiO₂ マスク
- 301c, 301W マスク開口部
- 301a, 301b マスクパターン
- 301w 広い開口部
- 302 p型クラッド層
- 303 p型コンタクト層
- 100, 200, 300, 310, 400 青色レーザダイオード

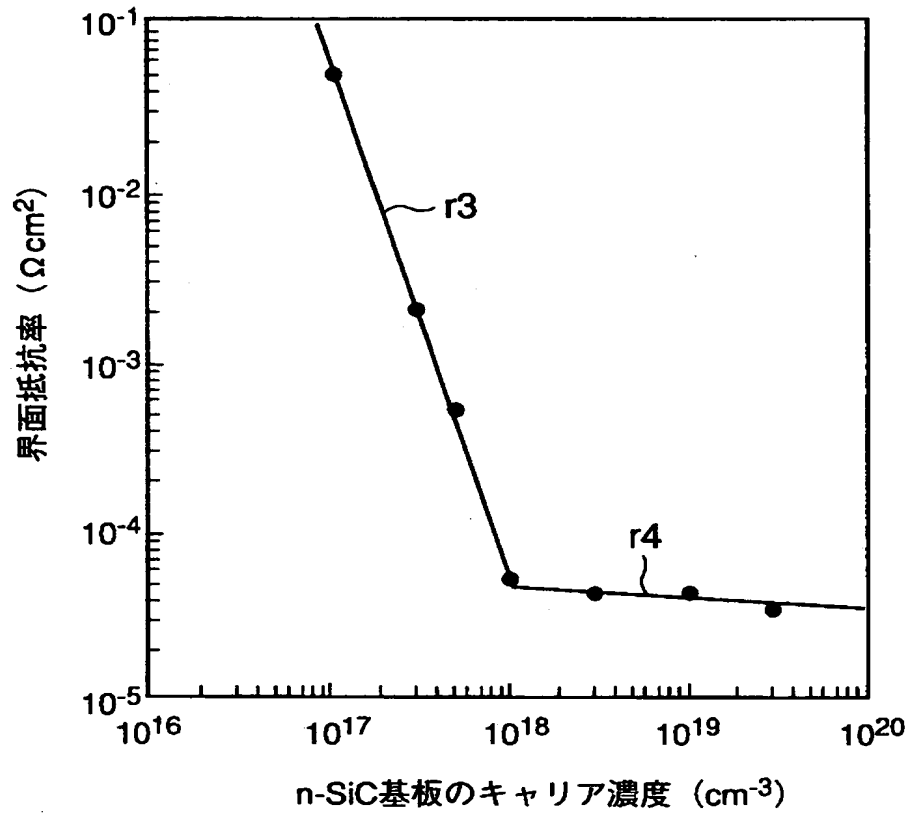
【図 2】

(A),(B)は、本発明の第1実施例の基礎となる実験で使われた試料、および実験結果を示す図



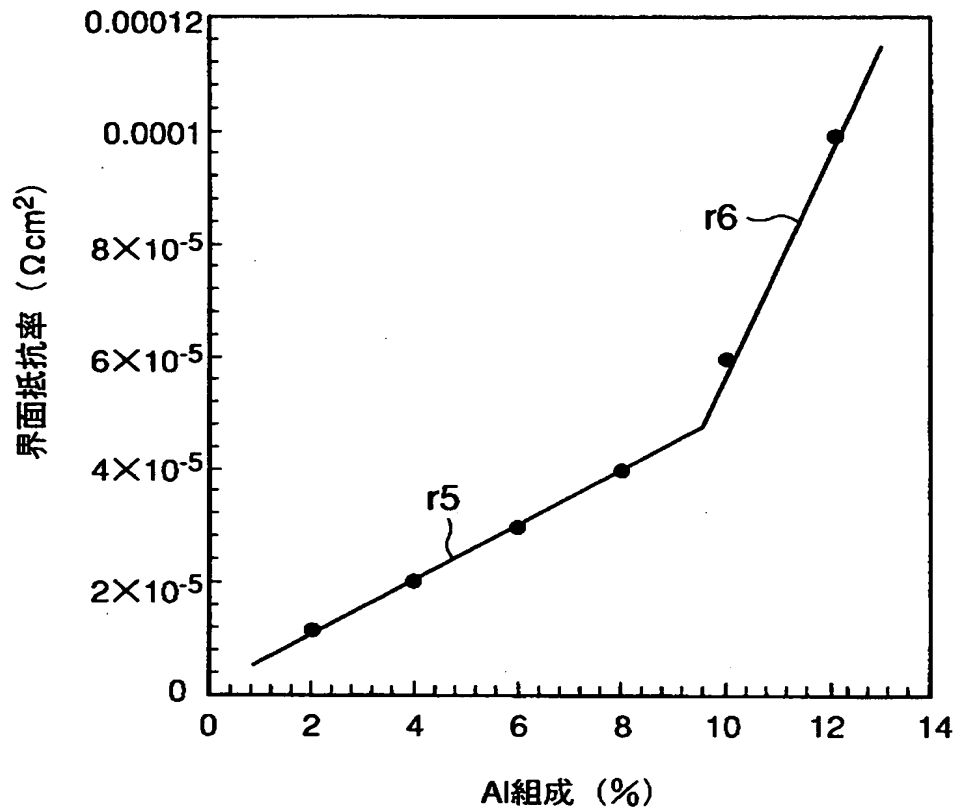
【図 3】

本発明第1実施例の基礎となる実験の別の結果を示す図



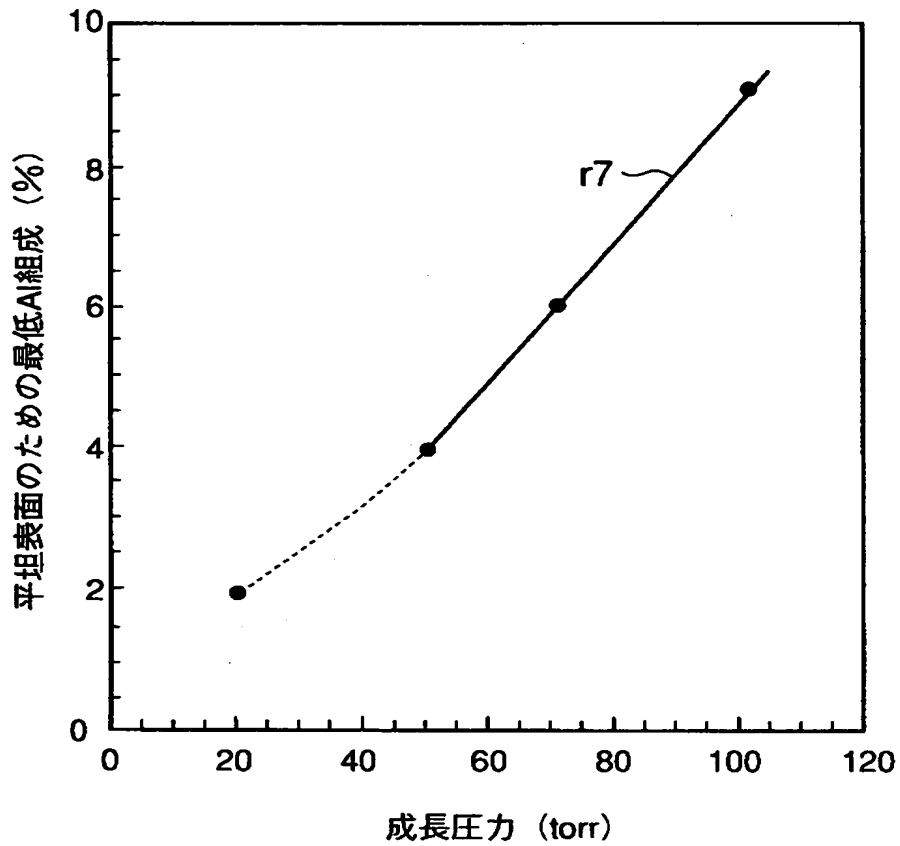
【図4】

本発明第1実施例の基礎となる実験の別の結果を示す図



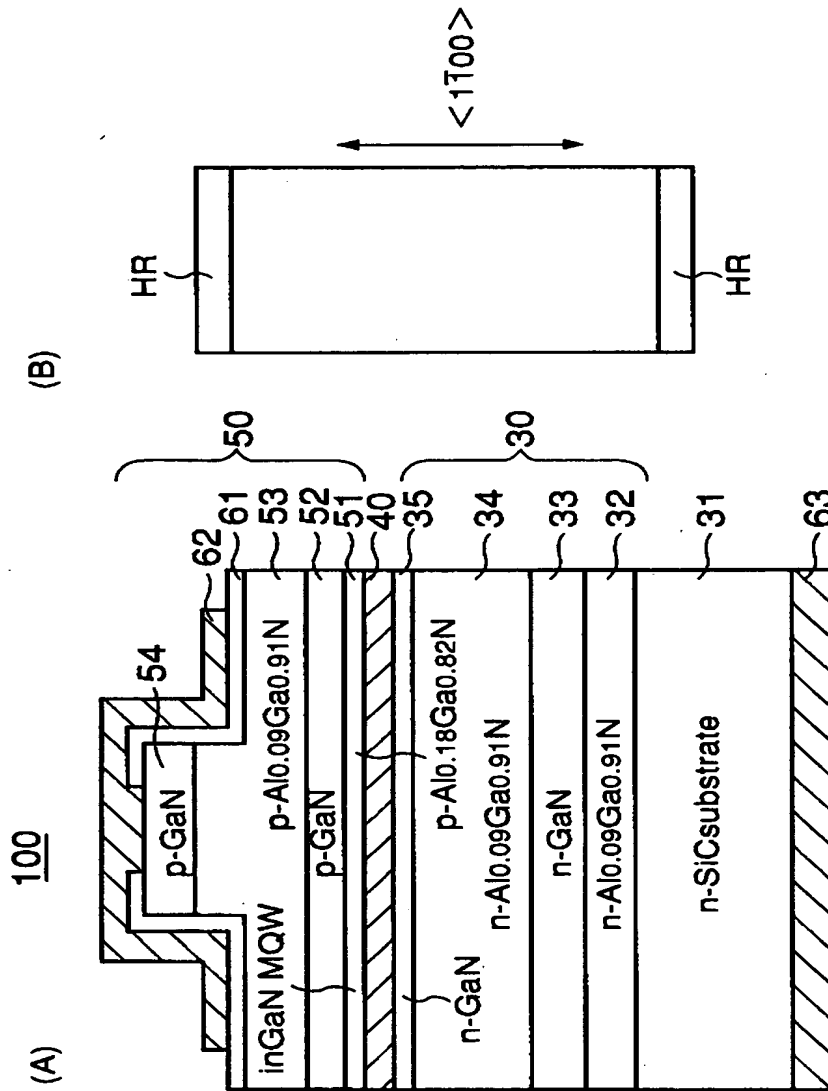
【図 5】

本発明第1実施例の基礎となる実験の別の結果を示す図



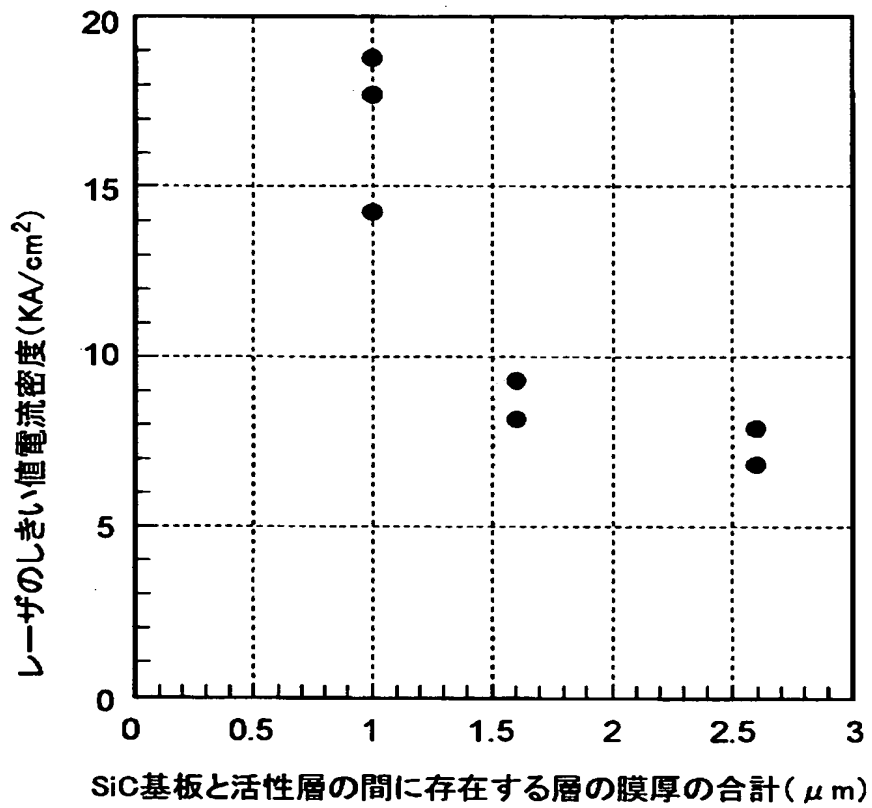
【図 6】

(A),(B)は、本発明の第1実施例によるレーザダイオードの構成を示す図



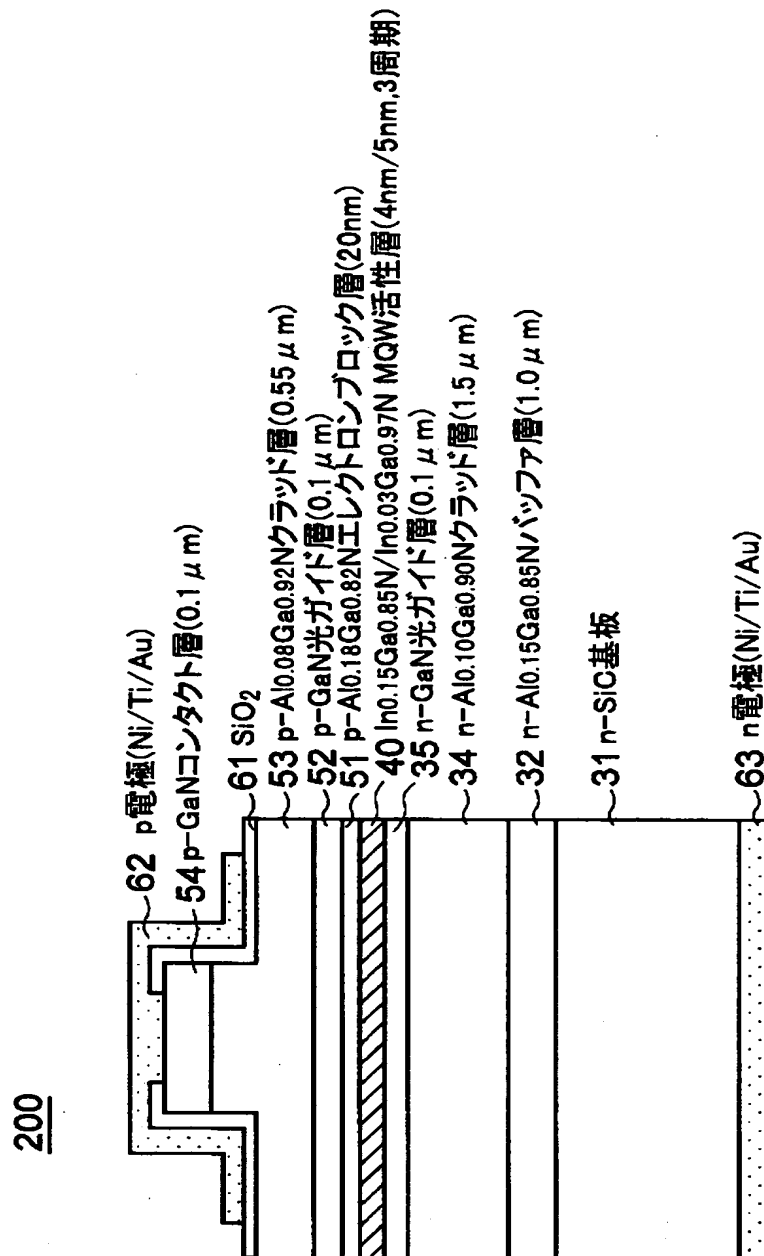
【図7】

本発明の第2実施例の基礎となる実験の結果を示す図



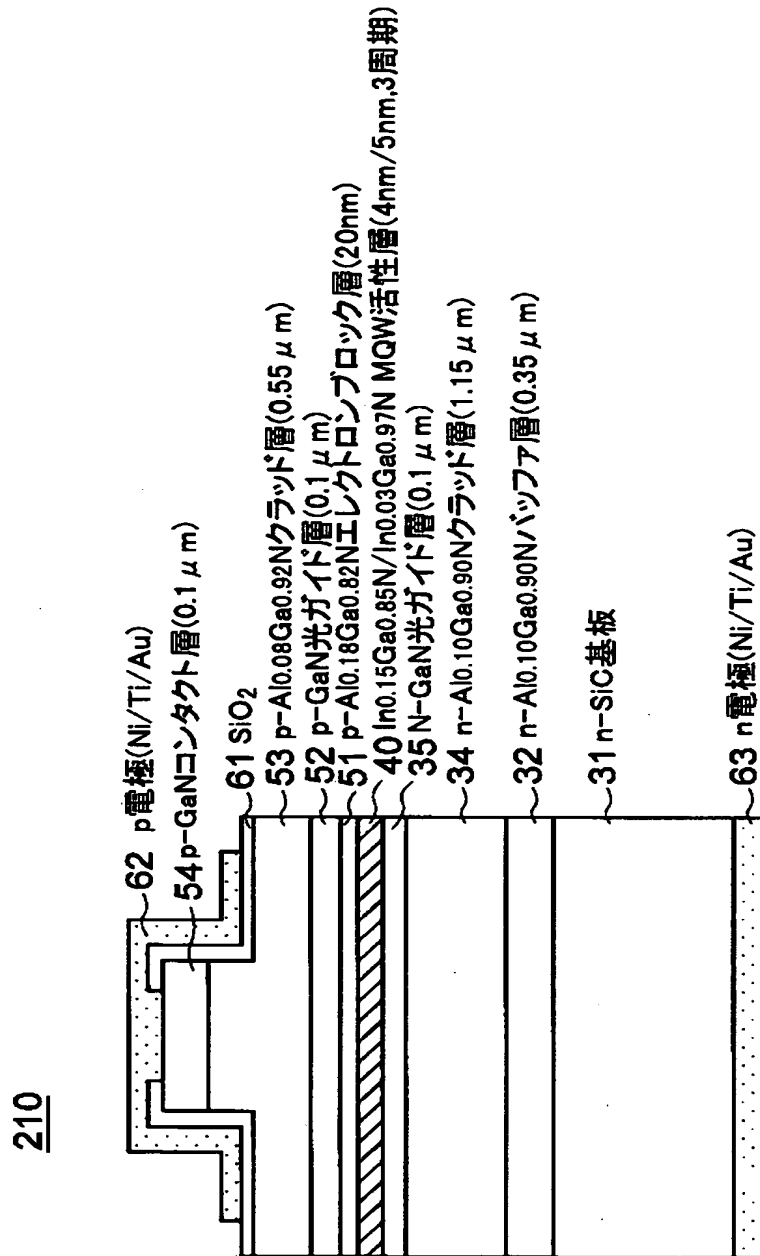
【図 8】

本発明の第2実施例によるレーザダイオードの構成を示す図



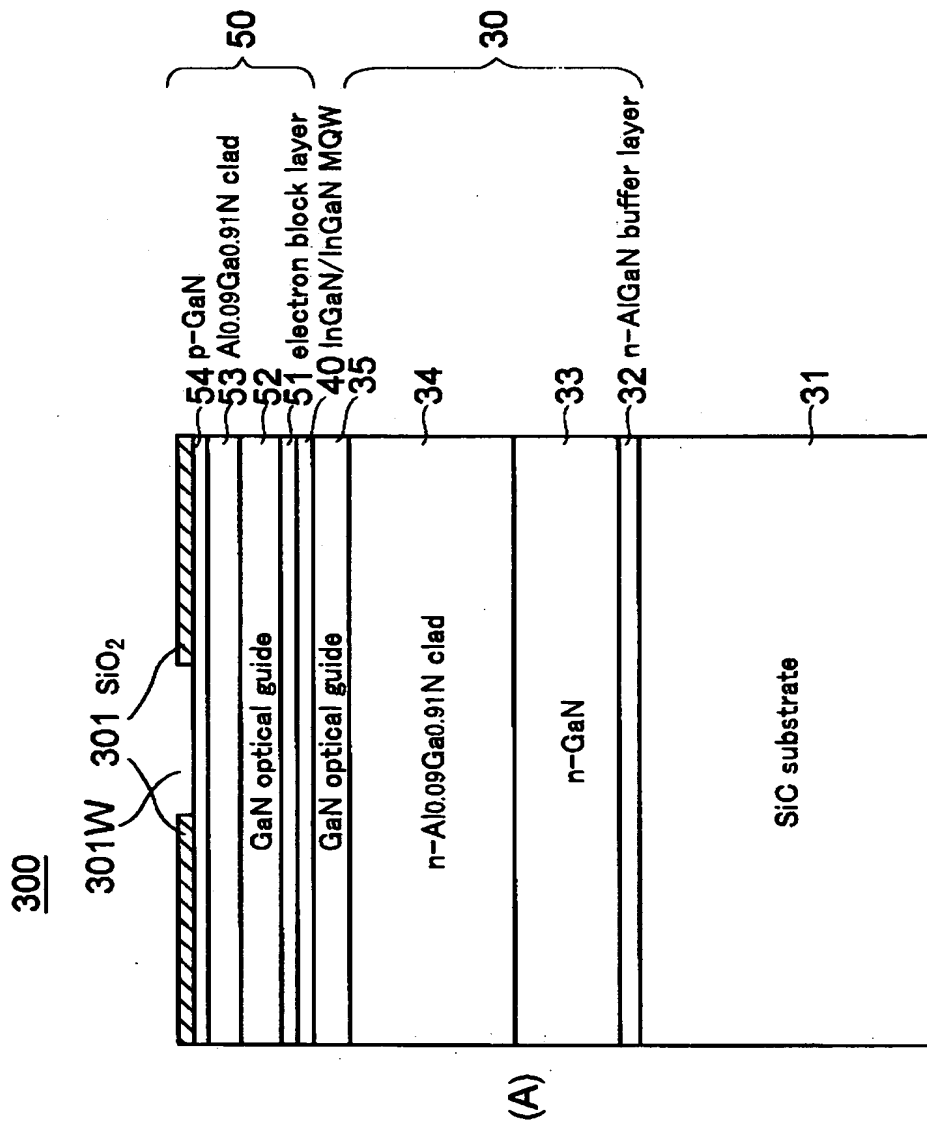
【図9】

図8のレーザダイオードの一変形例を示す図



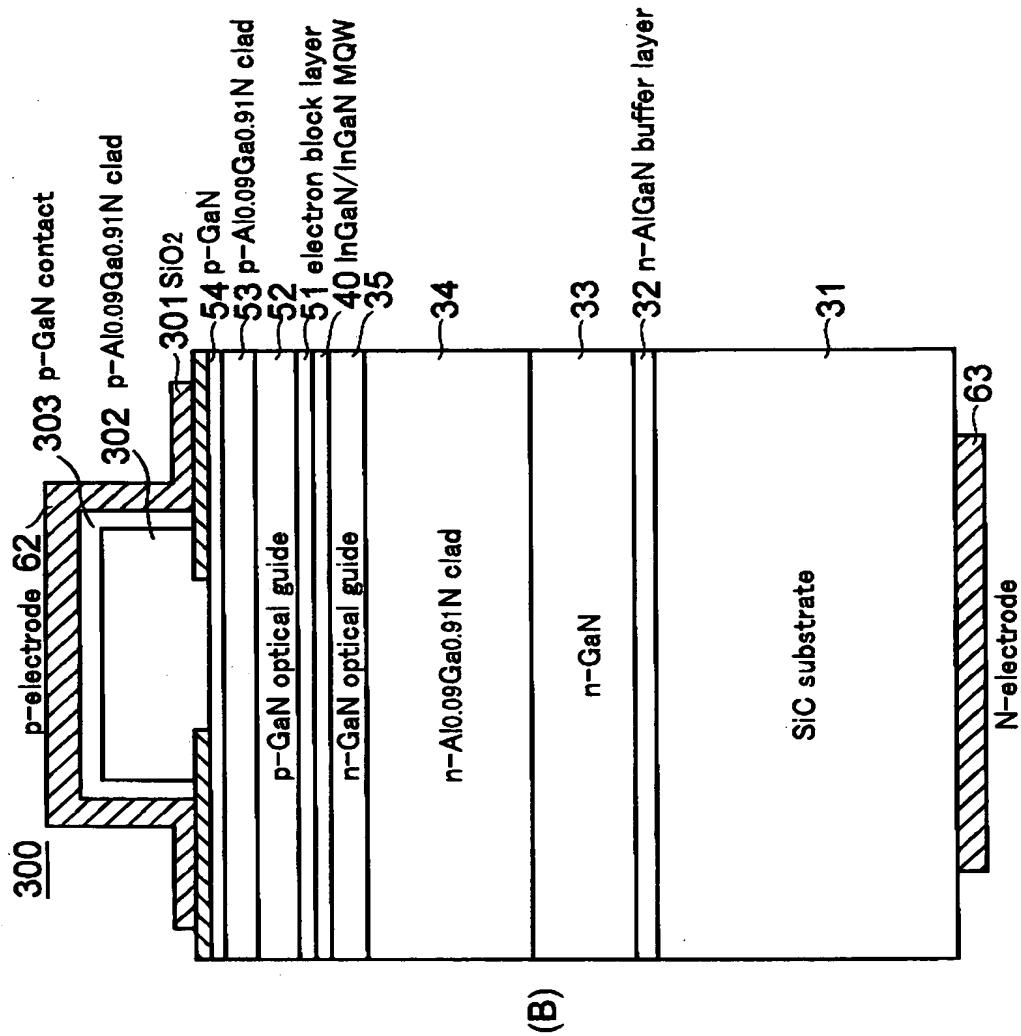
【図 1 0】

(A)は、本発明の第3実施例によるレーザダイオードの製造工程を示す図(その1)



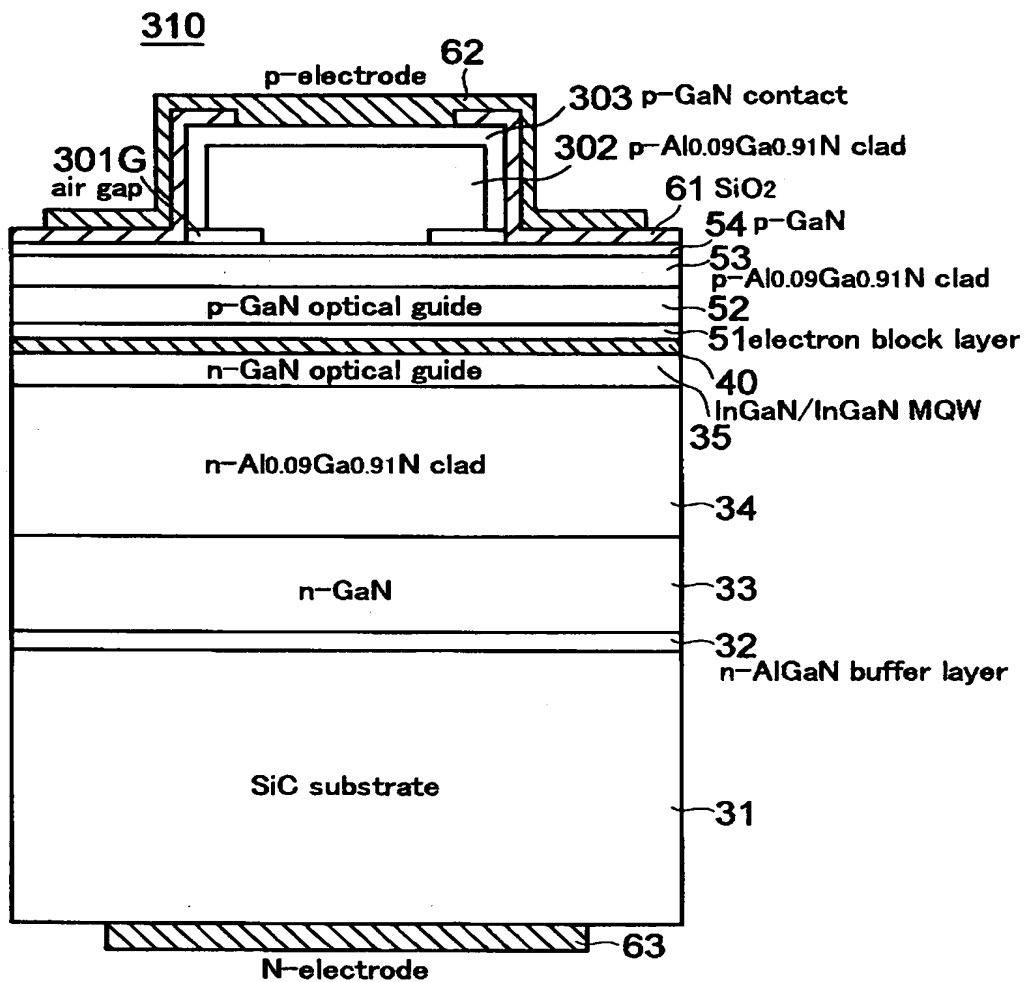
【図 11】

(B)は、本発明の第3実施例によるレーザダイオードの製造工程を示す図(その2)



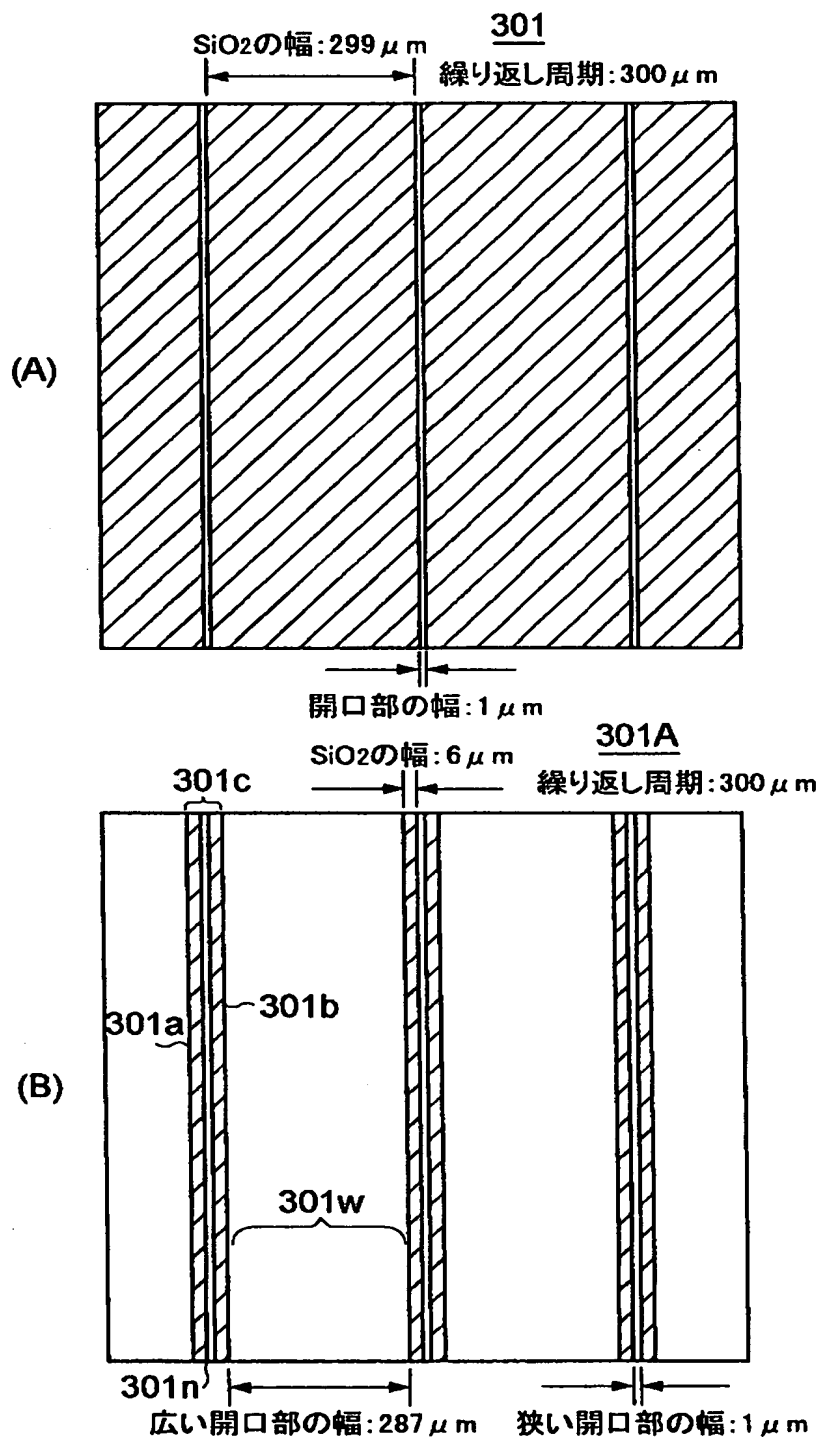
【図 12】

本発明第3実施例によるレーザダイオードの一変形例を示す図



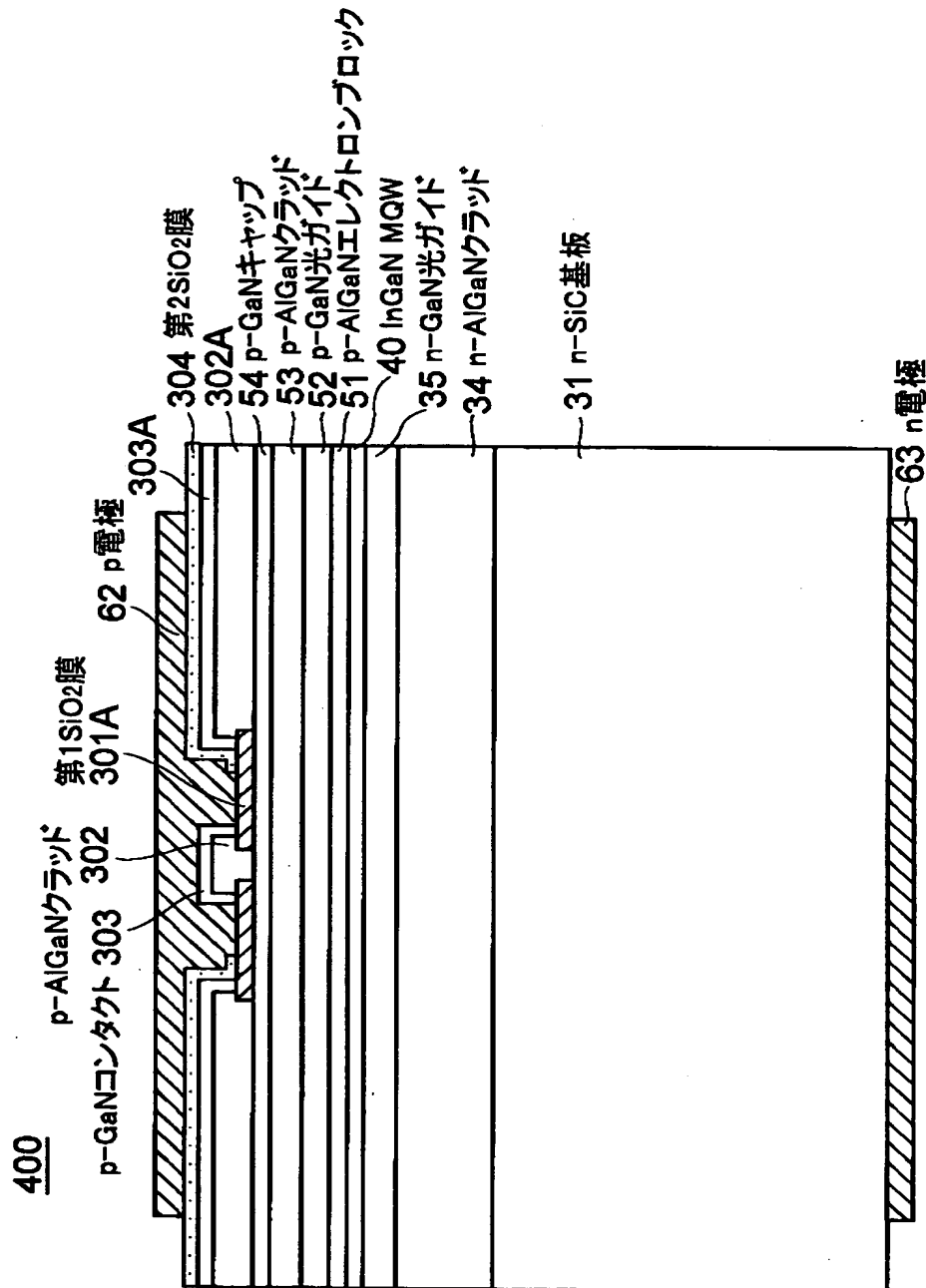
【図 13】

(A),(B)は、本発明第3実施例の選択成長工程で使われるマスク、および本発明第4実施例の選択成長工程で使われるマスクを示す図



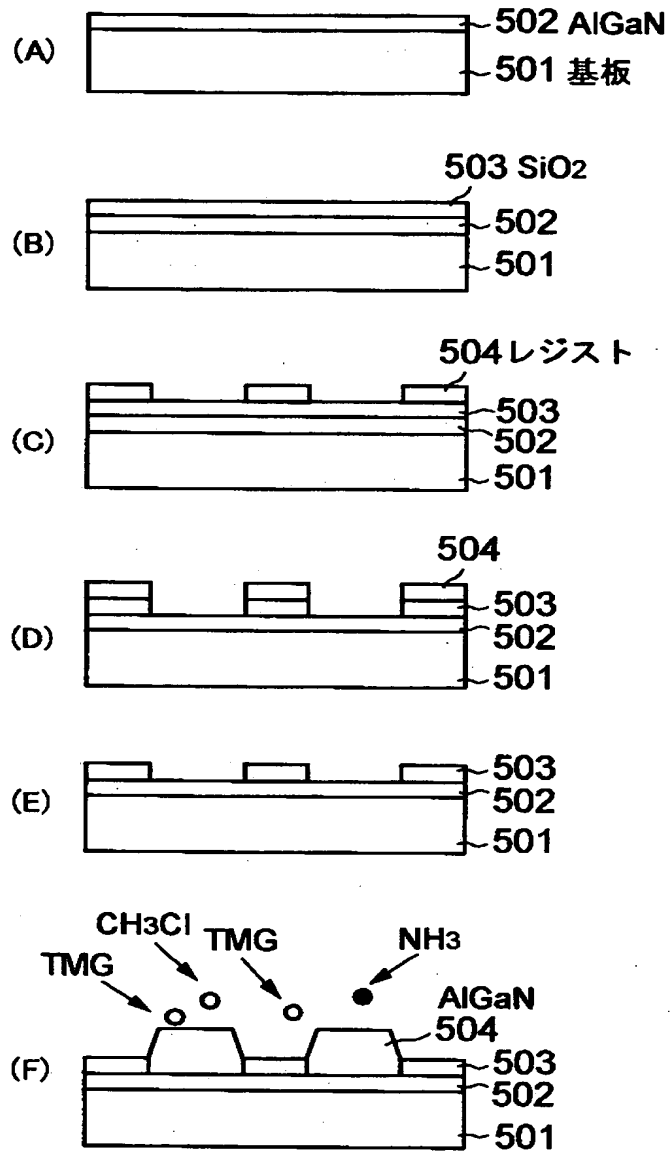
【図 14】

本発明の第4実施例によるレーザダイオードの構成を示す図



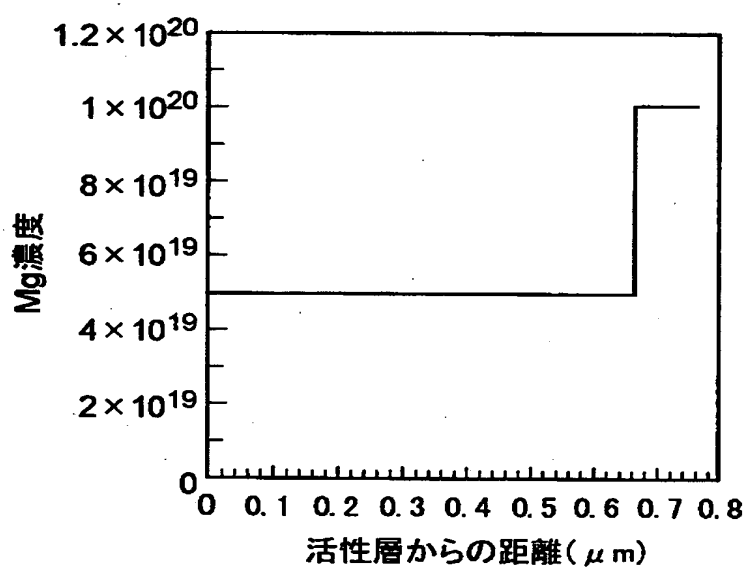
【図 15】

(A)~(F)は、本発明の第5実施例による選択成長工程を示す図



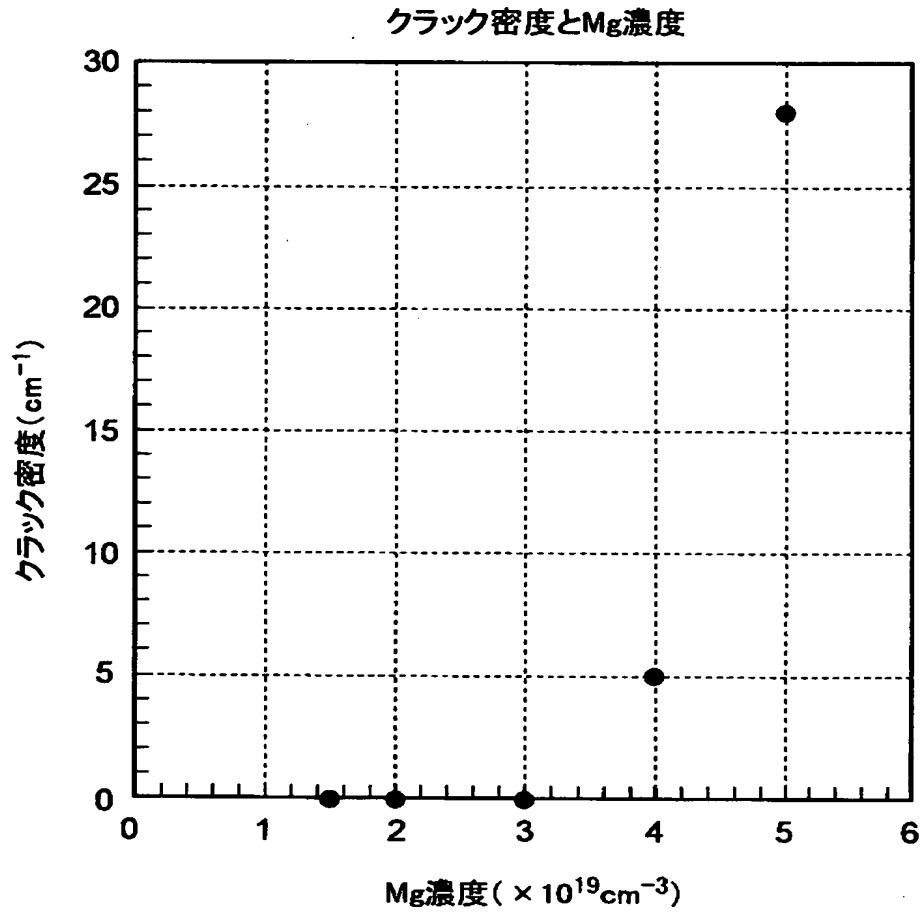
【図 16】

従来の青色レーザーダイオードにおけるp型エピタキシャル層中の不純物分布を示す図



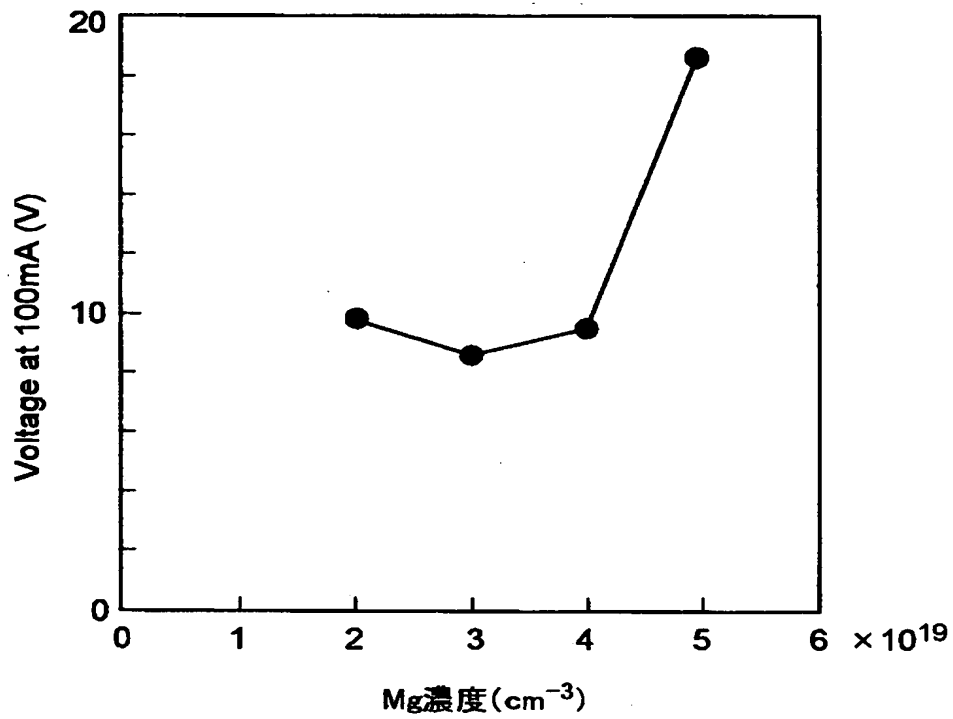
【図 17】

本発明の第6実施例の基礎となる実験結果を示す図



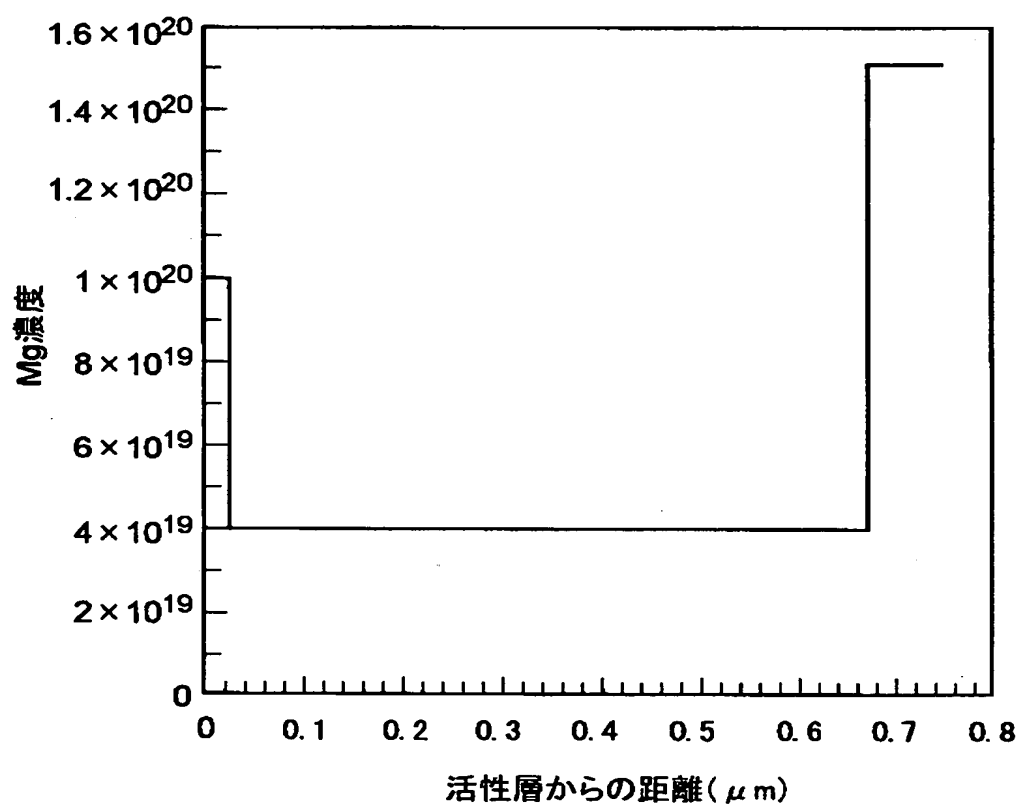
【図 18】

本発明第6実施例の基礎となる実験結果を示す別の図



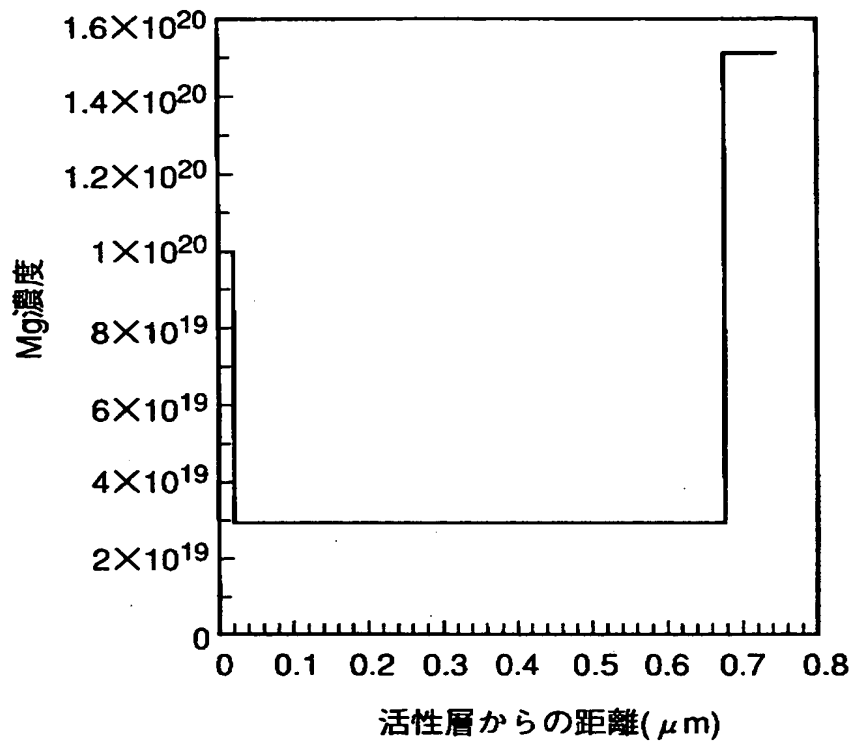
【図 19】

本発明の第6実施例によるレーザダイオードで使われる
不純物分布を示す図



【図 2 0】

図19の一変形例による不純物分布を示す図



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 SiC基板上に形成するGaN系半導体技術に関し、SiC基板上にGaN系半導体結晶をエピタキシャルに成長し、かつSiC基板とGaN系半導体結晶層との間に良好な電氣的伝導性を実現する技術を提供することを目的とする。

【解決手段】 n型SiC基板と、前記n型SiC基板上に直接エピタキシャルに形成され、 $3 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ のn型キャリア濃度を有する $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層 ($0 < x < 0.4$) とを有する。

【選択図】 図2

【書類名】 職権訂正データ
【訂正書類】 特許願

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】 000005223

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】 申請人

【識別番号】 100070150

【住所又は居所】 東京都渋谷区恵比寿4丁目20番3号 恵比寿ガーデンプレイスタワー32階

【氏名又は名称】 伊東 忠彦

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005223]

1. 変更年月日 1996年 3月26日

[変更理由] 住所変更

住 所 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
氏 名 富士通株式会社